

# 汽车 48 V 系统的节能效果、应用成本与实施策略\*

史天泽 赵福全 郝瀚 刘宗巍

(清华大学,汽车产业与技术战略研究院 汽车安全与节能国家重点实验室,北京 100084)

**【摘要】**对汽车 48 V 系统进行了分析,介绍了其发展历程、系统架构和节能原理等,考察了其节能效果与应用成本。指出了 48 V 系统技术门槛相对较低、可快速应用即取得一定的节能效果,是满足日益严苛油耗法规的短期解决方案之一,近期可能在中国迎来快速增长;但节能潜力有限,无法满足长期需求,是一种过渡性的技术选项。在燃油车占主体地位的情况下,48 V 及混合动力系统仍有重要意义。最后提出了中国车企对 48 V 系统的实施策略建议。

**关键词:** 48 V 系统 混合动力 节能效果 应用成本 技术路线

中图分类号:U461.9

文献标识码:A

DOI: 10.19620/j.cnki.1000-3703.20180215

## Effectiveness, Cost and Application Strategy of 48 V System in Vehicles

Shi Tianze, Zhao Fuquan, Hao Han, Liu Zongwei

(Tsinghua Automotive Strategy Research Institute, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084)

**【Abstract】**The 48 V system applied in vehicle was analyzed in this paper, its development history, system architecture and energy saving principles were presented, its energy saving effect and application cost were investigated. It was indicated in the paper that 48 V system had lower technical threshold, it could be used rapidly and achieve certain energy saving effect, which made it a short-term solution to meet increasingly stringent fuel consumption regulation. Application of 48 V system will increase rapidly in China in recent years. But the limit fuel saving potential won't meet long term regulations, therefore it is a transitional technology option. At the time when fuel-power vehicles dominate the market, 48 V system and hybrid electric system still have great significance. Some suggestions for 48 V system application strategy for the Chinese OEMs were given in this paper.

**Key words:** 48 V system, Hybrid electric vehicle, Energy saving effect, Application cost, Technology roadmap

## 1 前言

能源和环保是全球性的重大问题,汽车作为能源消耗大户,其低碳化发展已受到人们的广泛关注<sup>[1-2]</sup>。当前,各国车辆油耗法规日趋严苛,要求汽车产品必须不断降低油耗水平<sup>[3]</sup>。在此背景下,48 V 系统作为一种有效的节能技术,日益受到业界关注<sup>[4-11]</sup>。48 V 系统的直接含义是指一种电压为 48 V 的车用电气系统,另一层含义是指人们基于该电气系统设计开发的轻度混合动力系统,本文中“48 V 系统”指的是以轻度混合动力(轻混)系统为主要节能手段的、较高电压的车用电气系统。

2011 年,大众、宝马、奔驰、保时捷、奥迪五大德国汽

车制造商宣布联合开发 48 V 汽车电气系统,主要应用于轻度混合动力车辆,这表明 48 V 系统已逐渐成为车企的节能技术选项之一。其背后的推动力是日益严格的油耗及 CO<sub>2</sub> 排放标准 and 不断升级的车辆用电需求<sup>[12]</sup>。一方面,起停技术的应用已使传统的 12 V 系统接近承载能力的极限,而在法规约束下应用效果更好的轻度混合动力系统势在必行,这就需要承载功率更高的电气系统<sup>[13]</sup>。另一方面,汽车产品所集成的电子功能越来越多,12 V 系统已无法满足大功率电气装备的需求。由此,48 V 系统应运而生。

本文对 48 V 系统的发展历程、系统架构、节能原理进行了介绍,考察了其节能效果与应用成本,并对 48 V

\*基金项目:国家自然科学基金重点项目(U1764265);科技部高新司国家科技创新战略研究专项(ZLY2015017)。

通讯作者:刘宗巍(1978—),男,副研究员,博士,研究方向为汽车企业管理研究,liuzongwei@tsinghua.edu.cn。

轻混技术与典型的重混技术进行了成本有效性对比分析,从而明确了48 V系统的特点及其定位,并结合法规升级前景和中国车企实际情况,给出了48 V系统技术路线选择及实施策略的具体建议。

## 2 48 V系统发展综述

### 2.1 48 V系统发展简介

车用电气系统经历了不断发展、逐步升级的过程,期间还曾有反复。20世纪70年代左右,车用电气系统进行了一次大规模升级,形成了目前较为普遍的12 V系统。随后,在20世纪90年代,美国曾试图主导新一次电气系统升级,推动42 V系统应用<sup>[14-15]</sup>。受限于当时的技术水平,这次升级以失败告终,但在车辆某些部件上保留了42 V功能,也为未来车用电气系统的升级提供了技术储备。近年来,由于各种大功率电子器件不断集成,电气系统升级再次引起人们关注。一些汽车厂商提出了48 V系统的升级方案。与之前升级失败的42 V系统相比,目前推行48 V系统既有法规的现实推动、技术的有力支持,也有更大的应用价值,并且可以借鉴之前的经验教训,正越来越受到业界的关注。

48 V车用电气系统的架构如图1所示,分为12 V低压线路和48 V高压线路,二者之间通过电压转换装置连接,需要指出的是,48 V系统的正常工作电压为36~52 V<sup>[6]</sup>。高电压系统承担动力总成、空调、底盘等大功率电子器件的负载,低电压系统则为车灯、车载电脑、显示屏等低功率负载供电。这种双电压构型既能满足大功率部件的需求,又避免了大量电子元器件的重新开发,可以有效节约成本。

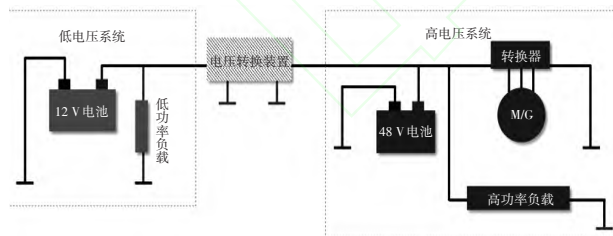


图1 48 V车用电气系统的双电压结构

相比于现行的12 V系统,48 V系统具有较高的节油潜力,主要可以通过所集成的轻度混合动力系统实现节油;提高系统电压可相应地降低电流,进而降低导线和电器的功率损耗;可以有效支持多种车载电器附件的升级。当然,48 V系统并非车用电气系统升级的终点,未来,随着汽车动力系统电气化程度的不断提升,以及汽车集成更多的电子信息功能,更高电压电气系统的需求仍是存在的。

### 2.2 48 V系统的挑战

由于结构的复杂化,48 V系统的开发和应用也带来了诸如电器安全、电磁辐射、电池管理等挑战。

车辆电气系统工作中,不同电压的组件同时运转,这些电气组件都需要保证在各种工况下的安全性。双电压系统中,12 V系统和48 V系统电路由一个DC/DC转换器连起来。如果发生接地失效,48 V高压电流将直接通过12 V零线,高压电流将对线路上的低压组件如电控单元等造成严重损害。因此,实现完善的电路设计,使双电压系统组件得以分离是重要挑战之一。

供电电压的升高也导致电磁兼容要求的提高。相比于12 V系统,48 V系统产生的电磁波强度更大,强电磁辐射可能干扰车载电子设备间CAN通信的正常运行,影响行车安全。48 V系统主要电磁干扰源为DC/DC转换器和驱动电机及其控制器。在整体布置中,整车控制器、制动控制器等关键系统应尽量远离干扰源,并注意高压线束的选取和布置方式,对于强干扰源可采取屏蔽措施,以满足电磁兼容要求。

此外,48 V系统多采用锂电池作为储能设备,其相比于铅酸电池和镍氢电池具有较高的能量密度和较好的充、放电性能。为了满足电动汽车的功率、电压要求,一般会单体电池进行串、并联组成电池组。在48 V系统工作过程中,电池组会进行频繁的充电和放电。由于各电池单体绝对的一致性无法保证,需要依赖电池管理系统进行整体监测和管理,防止电池组中个别电池充电状态与其他电池产生过大差异,甚至进入深度放电状态而影响电池组寿命。

总体上,虽然48 V系统的应用面临了一些挑战,但与高压系统相比技术难度相对较小。目前也出现了很多整体解决方案,正逐步达到应用水平。

## 3 48 V系统的节能效果与应用成本

### 3.1 节能效果

目前,48 V系统尚未得到广泛应用,直接考察其节能效果有一定难度。但48 V系统最主要的节能效果来自于其搭载的轻度混合动力技术。因此,以BSG轻混技术的节能效果作为48 V系统的参考值是较为可行的研究方法。

针对不同混合动力技术的节能效果,国内外多个研究机构开展了大量研究。其中美国国家研究委员会(National Research Council, NRC)认为起停系统将带来2.1%的节能效果,在此基础上,轻混系统的加入将进一步带来6.5%的节能效果,综合来看,NRC认为轻混系统

可实现8.6%的节能效果<sup>[17]</sup>;美国环保署(Environment Protection Agency, EPA)对混合动力技术进行了分车型研究,并认为轻混系统的节能效果约为8.5%~11.6%<sup>[18]</sup>,且随着车型增大,节能效果略有减小,如表1所示。

表1 EPA关于不同车型轻混系统节能效果的结论 %

车型	节能效果
小型轿车	11.6
中型轿车	11.6
小型SUV	10.2
中型SUV	10.5
皮卡	8.5

两家研究机构给出的轻混系统节能效果为10%左右,考虑到48 V系统的节能还包括电流损耗降低、电器附件性能提升等其他因素,其综合节能效果有可能达到15%左右。近期大陆集团与福特汽车合作开发的最新48 V系统车型披露节油效果为14.7%,与上述分析判断吻合。因此,本文确定48 V系统的节能效果约为10%~15%,并以此进行后续分析。

### 3.2 应用成本

#### 3.2.1 成本增长点

48 V系统引入BSG轻混技术后,汽车动力系统、电气系统等均受到影响。EPA在2012年对一款36 V BSG轻度混合动力汽车进行了拆解,考察了其从系统、子系统、组件、零件直至不可分割级别的变化,综合材料成本、劳动力成本、装备成本等,得到了成本增量数据<sup>[19]</sup>,可作为估计依据,如表2所示。其中成本变化较大的是电机系统、电力供给系统、线束与控制系统,其余系统的影响相对较小。

表2 BSG系统主要成本增长点

系统	成本增长点
发动机系统	驱动装置附件;冷却系统
传动系统	油泵及过滤系统;输送管路系统;其他杂项
车身	车身形状变化;电池支架
制动系统	制动控制系统;制动系统管路;传感器
电力系统	电机系统;电力供给系统
线束与控制系统	低压线布置(12 V部分);高压线布置(48 V部分);控制核心

#### 3.2.2 成本分析

对上述成本增长点进一步分析,以EPA对36 V系统的拆解研究和各系统的成本数据<sup>[22]</sup>为基础,根据48 V系统实际情况进行合理缩放,估算各部分的成本增量。

##### a. 电机系统成本估算

EPA给出的不同额定功率的电机成本如表3所

示<sup>[20-22]</sup>,48 V系统电机功率多为15 kW左右,根据表3可推算这部分成本增量折合人民币(下同)约为663元。

表3 电机系统成本

电机功率/kW	电机成本增量/元
14.9	663
18	710
12.4	796
35	1 006

##### b. 电力供给系统成本估算

电力供给系统是最大的成本增长点。一般48 V系统需要搭载支持电机持续运行0.02 h左右的电量,其电池容量需求约为0.3~0.4 kW·h<sup>[22]</sup>。表4<sup>[22]</sup>列出了不同电池容量的成本数据,以电池容量0.35 kW·h计算,可推定电力供给系统的成本增量约为2 480元。

表4 电力供给系统成本

电池容量/kW·h	电池系统成本/元
0.662	4 384
0.743	6 162
0.857	6 856
0.994	7 660

##### c. 线束与控制系统成本估算

线束分为低压线路(12 V部分)和高压线路(48 V部分)两部分,其成本主要与通电流强弱相关,而48 V系统与EPA所拆解的36 V系统相比,可以从电压差异直接推算出电流不同,进而确定低压线路部分成本增量约为125元,高压线路部分则约为530元<sup>[19]</sup>。

控制系统包括电机控制系统、控制核心、电压转换装置等核心部件,以及与之配套的线路、装配、冷却系统。对这部分成本进行精确估算较为困难,但根据经验,将36 V车辆拆解成本放大5%来估算是可以接受的,由此得到48 V系统的控制系统成本增量约为2 400元。

##### d. 其他系统成本估算

其他包括发动机系统、传动系统、车身系统、制动系统等的成本变化,这些多为机械结构变化,不涉及电气部件,因此可直接取36 V车辆拆解的结果,合计约为1 303元,如表5所示<sup>[19]</sup>。

##### e. 总成本估计

综上,48 V轻混系统的直接成本增量总计约为7 501元。如前所述,这是基于EPA在2012进行实车拆解获得的数据进行折算获得的。48 V系统的实际应用成本还必须考虑规模效应及技术进步带来的成本下降,这个变化可以利用学习曲线<sup>[18,21]</sup>进行估算。考虑48 V轻混系统的技术特点,选取了如表6所示的变化系数<sup>[21]</sup>。

表5 其他系统成本增量 元

系统	成本增量
发动机系统	664
传动系统	310
车身系统	90
制动系统	239
合计	1 303

表6 学习曲线变化系数

年份	变化系数
2012	1.00
2016	0.64
2018	0.60
2020	0.57
2025	0.49

由此得2018年48 V轻混系统的应用成本约为4 501元;远期来看,48 V轻混系统趋于成熟情况下的应用成本可降低到3 675元,即可以将成本控制在4 000元以下。

### 3.3 48 V系统成本有效性的对比分析

当前,混合动力技术主要有两种不同方向的选择,即轻混技术(基于48 V系统时可获得更充分的节油效果)和重混技术。直观比较而言,前者的优势在于技术门槛较低,成本总投入较小,即可获得一定的节油效果;而后者由于增加了混合度,可以获得更大的节油效果,但其技术难度更高,成本总投入也更大。目前应用较多的重混系统主要有PS(Power Split)和P2(Position 2)两种构型。PS构型以行星齿轮机构作为动力耦合装置,该构型多出现于日本、美国厂商,主要代表包括丰田、通用、福特等;P2构型则以离合器完成动力耦合,该构型多出现于欧洲厂商,如大众、宝马等。本文以这两种构型作为重混技术的代表,与48 V轻混技术进行比较。

对汽车节能技术的应用效果与成本进行估算分析,是一项极富意义和挑战性的工作,目前世界各国的多个研究机构都在对此展开研究。其中,NRC联合多家研究机构对包括混合动力在内的各种汽车节能技术的应用效果与成本所进行的研究具有较高的系统性和权威性<sup>[17]</sup>。其研究综合运用了拆解分析、系统仿真、试验测量等方法,获得了各种汽车节能技术的节能效果与相应的应用成本,其中包括PS和P2两种重混技术路线的数据<sup>[17]</sup>。利用学习曲线修正,估计其2018年可能的成本变化,如表7所示。同时,也把本文得到的2018年的48 V轻混技术路线的数据置于表7中。

表7 重混技术与48 V系统的效果与成本

混合动力技术	重混技术		48 V轻混技术
	PS	P2	
节能效果/%	33~33.5	28.9~33.6	10~15
直接成本增量/元	16 299	12 460~15 797	4 501
成本有效性/元·% <sup>-1</sup>	490	451	360

成本有效性是指每获得1%的节能效果所需花费的成本,该值越低越好。在2018年,重混技术和48 V技术各有优势。48 V系统有明显成本优势,其成本有效性也更好一些,但重混技术的节能潜力更大,能满足更严格的法规要求。随着技术的进步,重混系统关键零部件的成本也可能实现下降,这将为其成本控制带来更大的改善空间。由于节能效果的差异,重混方案的总投入远高于48 V轻混方案,如表7中数据所示,约在3倍以上。另外,表7中的成本数据只针对汽车各系统变化带来的影响,主要是指制造成本增量,而未考虑不同技术开发成本及周期方面的差异,在这方面复杂的重混技术显然也居于劣势。

### 3.4 48 V系统的特点与定位

根据以上分析可知,48 V系统的主要特点可总结为“短平快”,其优势在于能够以较低的成本总投入,迅速取得一定的节能效果,而其劣势在于节能潜力有限,未来面向更加严苛的油耗法规将无力应对。尽管通过追加投入,将电机集成到变速器中,48 V轻混系统的综合节能效果有可能提高到20%,但其最高电压限制了电机功率的提高,终究难有更进一步的节能空间。就技术应用而言,BSG构型的48 V系统不需要对动力总成进行大规模改动,甚至BSG系统可作为固定模块直接添加到传统动力总成中,技术难度比各种重混技术要低得多。

基于48 V系统的特点,本文认为这项技术的基本定位为:短期内能够快速应用并取得一定节能效果、满足近期法规的有效技术手段之一;如果车企没有其他节能技术(如重混技术)的充分储备,尤其应予高度重视,争取尽早应用。但是,48 V轻混系统只能作为过渡性方案,车企在投入和应用48 V系统的同时,不可放松对其他节能技术的研发和推进。

## 4 48 V系统的应用策略探讨

### 4.1 中国油耗法规走向及技术应用策略分析

汽车节能技术的应用压力主要来源于越来越严格的法规要求。中国第四阶段油耗法规限值为5.0 L/100 km,

是在三阶段限值的基础上下降约28%;第五阶段将达到4.0 L/100 km,降幅达到42%;而第六阶段的乘用车平均油耗限值预计将达到3.2 L/100 km,届时降幅高达54%。这是异常严峻的挑战,车企必须不断挖掘包括混合动力在内的各种汽车节能技术的潜力。此外,对于不同级别的乘用车,法规收紧的幅度不同,有利于车辆向小型化、轻型化方向发展。具体来说,对于小型、中型和大型车辆,分别需要节约约17%、28%和36%。可见,未来较大车型的节油压力更大,预期第五阶段油耗法规也将延续这一导向。

近期出台的CAFC与NEV双积分政策中,车企可用一定比例生产新能源汽车获得的NEV正积分来抵偿CAFC负积分,这在一定程度上降低了车企油耗达标的难度,但作为一种调控政策,在交通领域低碳化导向下,预计未来国家通过调整法规细则进一步收紧CAFC管理的可能性很大。国家在政策导向上,正进一步加大包括电动汽车和燃料电池汽车在内的新能源汽车推广力度,然而燃油车的主体地位在短时间内很难发生变化。为了使占绝大多数的燃油汽车达到日益严苛的法规要求,汽车节能技术的研究仍将是未来研究重点之一。48 V、混合动力等技术有良好的节能效果,是未来重要技术选项。车企则必须认真考虑每一种节能技术,并做出正确的选择,才能以合理的成本满足日趋严苛的法规。

对于自主车企来说,48 V系统的应用是由现实压力驱动的。2016年国产乘用车平均燃料消耗量为6.56 L/100 km<sup>[23]</sup>,距离第四阶段油耗限值5.0 L/100 km有很大差距。中国汽车企业在非电气化节能技术方面的积累还很不足,重混技术短期内尚不能大规模投入应用,而新能源汽车受制于电池成本和性能的改善速度,不可能一蹴而就,因此未来油耗法规对中国车企提出了很大挑战<sup>[24-27]</sup>。寻找过渡技术,为其他先进技术的开发赢得时间,是目前的当务之急。在这些因素的影响之下,48 V系统技术对于一部分自主车企来说成为短期内必须重点考虑的方案之一。相反,对于掌握了先进重混技术的日本车企来说,48 V系统的重要性则没有那么重要,这从日系车企对48 V系统的态度上也可见一斑。

综合考虑48 V系统“短平快”的技术特点和“过渡方案”的基本定位,对于中国车企来说,在短期内没有足够的有效节能手段的情况下,应快速导入48 V系统,以满足第四阶段以及后续第五阶段的油耗法规要求;鉴于48 V系统节能潜力的局限性,车企在导入该技术的同时,还需加紧研发重混、新能源汽车、高效发动机等先进

技术,以满足长远发展需求。

## 4.2 48 V系统未来应用分析

### 4.2.1 其他节能技术分析

除各种混合动力技术外,车辆上还会搭载其他节能技术以满足法规要求。本文对近期可能得到应用的较为成熟的非电气化节能技术进行了探讨,包括发动机节能技术、变速器节能技术、低阻力技术等,其节能效果数据如表8所示。这些技术的应用可满足约18.7%的总体节能效果<sup>[17]</sup>(总体节能效果=1-Π(1-单项技术节能效果<sup>i</sup>),其中<sup>i</sup>取相应技术节能效果的均值),根据车企技术水平及选择的不同,该值有一定浮动空间,但总体上表征了非电气化节能技术在带有发动机的车辆上的节能潜力。

表8 非电气化节能技术的节能效果 %

分类	技术	节能效果	复合节能效果	总节能效果
发动机节能	单进气VVT	2.5~2.7	8.2	18.7
	进排气双VVT	2.4~2.7		
	润滑技术	0.7~0.8		
	发动机减摩擦	2.4~2.6		
变速器节能	低泄露阀	0.3	2.3	
	可变排量泵	1		
	降阻措施	1		
低阻力	风阻降低10%	2	3	
	滚阻降低10%	1~2		
轻量化	轻量化10%	6~7	6.5	

### 4.2.2 第四阶段油耗法规达标策略分析

不考虑双积分政策的影响,仅从节能汽车的角度分析车企满足第四阶段油耗法规的达标策略,具体如表9所示。

综合考虑油耗法规、其他节能技术的影响,表9中显示了48 V系统的主要应用方向。对于小型车辆,仅靠挖掘非电气化技术通常就可以满足下一阶段的要求,即使略有困难的车型,加入起停等电气化技术后也可达标。对于中型车辆,应用了非电气化技术后仍有一定节能缺口,恰好可以利用48 V系统补充,最终可能在中型车范围内得到广泛应用。而对于大型车来说,当然也可以利用48 V系统缓解油耗压力,但仍可能无法满足法规要求,面向未来进一步升级的法规更是如此。因此,大型车型应考虑尽早开发并搭载重混技术,在此之前,则可以借助48 V系统进行有效过渡。

### 4.2.3 第五阶段及后续油耗法规达标策略分析

中国第五阶段及后续油耗法规尚未出台细则,但整

体上将进一步加严。48 V系统受制于其节能潜力的局限性,将难以为继。近年来,越来越多的主要汽车制造商都在加紧开展各种新能源汽车先进技术的研发和布局,预计到第五阶段法规期间,这些技术将相继成熟

并投放市场。届时,48 V系统的应用将会逐渐减少。当然,随着轻量化、低阻力、先进动力总成等技术的进步,在部分节能效果较好的车型上,48 V系统仍可能有一定应用空间。

表9 面向第四阶段油耗法规的节能技术路线选择

乘用车车型	节能效果/%			路线选择		
	法规收紧	非电气化技术	48 V系统			总节能效果
小型车 (下限)	17	18.7	10~15	18.7>17	路线1	挖掘非电气化技术+起停等电气化技术(推荐)
					路线2	部分非电气化技术+48 V轻混技术(可选)
中型车	28			18.7+10>28	路线1	挖掘非电气化技术+48 V轻混技术(推荐)
					路线2	部分非电气化技术+重混技术(可选)
大型车 (上限)	36			18.7+15<36	路线1	部分非电气化技术+重混技术(推荐)
					路线2	挖掘非电气化技术+48 V轻混技术(可选)

由此,48 V系统可能在第四阶段(2020年以前)以及第五阶段(2021~2025年)前期,即未来3~5年左右的时间里,迎来快速增长,并达到应用峰值;在第五阶段以后,则将逐渐无法满足法规需求,被其他先进技术替代。如果后续油耗法规细节上有所放松,或车企开发未来先进节能技术的进展不如预期,则其应用年限还可能延长。当前,中国车企的节能压力普遍较大,而新能源、混合动力等技术有很大的进步空间,但尚需时间和投入,而48 V系统恰恰可以提供宝贵的缓冲时间,因此该技术尤其值得中国车企重视。

### 4.3 48 V系统实施策略分析

如前所述,除了典型的BSG轻混构型外,实际上48 V系统也可以承载P2构型的混合动力系统,可较BSG构型进一步获得约5%的节能效果。

但是,从48 V系统的特点和定位出发,应匹配BSG构型轻混技术,而无需开发P2构型。其原因主要有:第一,投入产出比,用BSG构型实现48 V系统,可在不影响原动力总成的前提下即实现较为可观的节能效果,而P2构型需要动力总成的重新设计,投入和技术难度大,虽能带来节能效果约5%的提升,但总体性价比比较低;第二,应用速度,引入48 V系统主要是为了满足近期油耗法规的要求,BSG构型可以快速投入应用,而P2构型则需要更多的研发投入和时间投入,短期内难以快速应用,不符合发展48 V系统的初衷;第三,未来潜力,48 V电气系统下的P2构型节能潜力依旧有限,无法满足未来更加严格的法规,且P2构型本身完全可以承载重混技术,与其在48 V系统下开发P2技术,不如直接开发高电压的P2重混技术。

综上,车企在发展48 V系统时应充分发挥其技术相对简单、投入相对较低的优势,尽可能快速实现应用,

以早日获得收益。在这个架构下为追求稍好的节油效果而投入更多的时间和资金,往往是得不偿失的。

## 5 总结

本文对48 V系统的发展历程、原理结构、应用效果及成本等进行了综述和分析,研究表明,48 V系统可实现10%~15%的节能效果,目前的成本投入则约为4 500元人民币。虽然未来节能潜力有限,但其总投入较少、技术简单,是车企可以快速应用以满足近期油耗法规的有效过渡方案。

当前,中国乘用车整体平均油耗水平较高,在节能技术方面与国际先进水平相比尚有差距。对于自主车企来说,加快推广应用新能源技术、开发完善重混技术及其他先进节能技术,都尚需较多的时间和资金投入。在此情况下,48 V系统作为一种良好的过渡技术,可以确保车企有效应对第四阶段以及第五阶段(至少在前期)的油耗法规,并为新技术的研发应用争取时间。而自主车企尤其需要重视这一技术选项的巨大价值。

同时,48 V系统虽然在近期可能具有重要意义,但受其节能潜力限制,未来终将逐渐被更先进的节能技术所替代。这也决定了车企在应用48 V系统时,还需推动对其他节能技术的研发和应用,以满足远期发展。在48 V系统的应用中,BSG构型的轻混方案是较理想的选项,在48 V系统下开发诸如P2构型等复杂技术,性价比比较低,且会影响应用速度,价值有限。

### 参 考 文 献

[1] Nordelöf A, Messagié M, Tillman A, et al. Environmental Impacts of Hybrid, Plug-in Hybrid, and Battery Electric Vehicles—What Can We Learn from Life Cycle Assessment? [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2014, 19(11): 1866–1890.

- [2] 赵福全, 刘宗巍. 五升油耗挑战自主品牌发展模式[J]. 汽车科技, 2015(2):1-4.
- [3] Atabani A E, Badruddin I A, Mekhilef S, et al. A Review on Global Fuel Economy Standards, Labels and Technologies in the Transportation Sector[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(9): 4586-4610.
- [4] 忻文. 48V汽车电子电气系统架构的未来[J]. 汽车与配件, 2014(20):28-30.
- [5] 张英男, 陆春, 刘桂彬. 汽车48V系统的发展[J]. 汽车与配件, 2015(19):70-71.
- [6] 赵冬昶, 王昊, 禹如杰, 等. 48V汽车电气系统怠速启停技术应用趋势分析[J]. 汽车工业研究, 2015(10):41-47.
- [7] Rick A, Sisk B. A Simulation Based Analysis of 12V and 48V Microhybrid Systems Across Vehicle Segments and Drive Cycles[C]. SAE Technical Paper, 2015.
- [8] 梁小国, 危建, 路侃, 等. 48V输入电压调节模块的现状 & 未来[J]. 电力电子技术, 2003(2):89-93.
- [9] 周夏威, 朱昌吉, 曲大为. 基于ADVISOR的汽车48V动力系统仿真及特性分析[J]. 科学技术与工程, 2014(27): 283-285.
- [10] 吕志鹏, 梁英, 曾正, 等. 应用虚拟同步电机技术的电动汽车快充控制方法[J]. 中国电机工程学报, 2014(25): 4287-4294.
- [11] 于寅虎. 2015年汽车电子最新技术与市场动态[J]. 电子技术应用, 2015(2):9-10.
- [12] Hauenstein H M. 总成架构的演变——失败的42V电池总成与成功的48V电源总线[J]. 电子产品世界, 2013(11): 28-31.
- [13] Kuypers M. Application of 48 Volt for Mild Hybrid Vehicles and High Power Loads[C]. SAE Technical Paper, 2014.
- [14] Khan I A. Automotive Electrical Systems: Architecture and Components[C]. Digital Avionics Systems Conference, 1999.
- [15] Khan I A. Power Electronics in Automotive Electrical Systems[C]. Power Electronics in Transportation, IEEE, 1996: 29-38.
- [16] 张英男, 陆春, 刘桂彬. 48V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.
- [17] National Research Council. Cost, Effectiveness, and Deployment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles[M]. Washington, D.C.: National Academies Press, 2015.
- [18] Environmental Protection Agency. Joint Technical Support Document: Final Rulemaking for 2017-2025 Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards[R]. EPA, 2012.
- [19] Environmental Protection Agency. Light-Duty Vehicle Technology Cost Analysis, Mild Hybrid and Valvetrain Technology[R]. EPA, 2011.
- [20] FEV Motorentechnik GmbH. Light-Duty Vehicle Technology Cost Analysis - European Vehicle Market (Phase 1)[R]. FEV, 2012.
- [21] FEV Motorentechnik GmbH. Light-Duty Vehicle Technology Cost Analysis - European Vehicle Market, Additional Case Studies (Phase 2)[R]. FEV, 2012.
- [22] Environmental Protection Agency. Light Duty Technology Cost Analysis, Power-Split and P2 HEV Case Studies[R]. EPA, 2011.
- [23] 工业和信息化部. 2016年度乘用车企业平均燃料消耗量情况[Z]. 2017.
- [24] Hao H, Wang S, Liu Z, et al. The Impact of Stepped Fuel Economy Targets on Automaker's Light-weighting Strategy: The China Case[J]. Energy, 2016, 94: 755-765.
- [25] 刘宗巍, 史天泽, 郝瀚, 等. 中国汽车技术的现状、发展需求与未来方向[J]. 汽车技术, 2017(1):1-6.
- [26] Zhao F, Hao H, Liu Z. Technology Strategy to Meet China's 5 L/100 km Fuel Consumption Target for Passenger Vehicles in 2020[J]. Clean Technologies & Environmental Policy, 2016, 18(1): 7-15.
- [27] Liu Z, Hao H, Cheng X, et al. Critical Issues of Energy Efficient and New Energy Vehicles Development in China [J]. Energy Policy, 2018, 115: 92-97.

(责任编辑 斛 畔)

修改稿收到日期为2018年4月10日。