

前置后驱车型混合动力技术发展现状与趋势

张明宇 张春才 王文帅 王赢 赵东峰 张行

(中国第一汽车股份有限公司研发总院, 长春 130013)

【欢迎引用】张明宇, 张春才, 王文帅, 等. 前置后驱车型混合动力技术发展现状与趋势[J]. 汽车文摘, 2023(8): 14-20.

【Cite this paper】ZHANG M Y, ZHANG C C, WANG W S, et al. Development Status and Trends of Front-Rear Drive Vehicle Hybrid Technologies [J]. Automotive Digest (Chinese), 2023(8): 14-20.

【摘要】随着汽车产业的蓬勃发展, 包括大排量发动机前置后驱车型的传统燃油车对于环境污染问题日益凸显。受越来越严格的油耗和排放法规影响, 国内外主流车企前置后驱车型纷纷转向混合动力技术路线。通过对现有混合动力汽车节能技术调查研究, 总结了典型前置后驱混合动力车型与技术方案, 分析了构型原理、关键总成参数、技术优缺点以及面临的挑战和发展趋势。提升前置后驱混合动力技术水平, 促进混合动力发展, 将是前置后驱车型发展趋势。

关键词: 前置后驱; 混合动力; 技术路线; 构型; 发展趋势

中图分类号: U464.12⁺3 文献标识码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20220136

Development Status and Trends of Hybrid Technologies for Front-Rear Drive Vehicle

Zhang Mingyu, Zhang Chuncai, Wang Wenshuai, Wang Ying, Zhao Dongfeng, Zhang Xing
(Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

【Abstract】With the vigorous development of the automobile industry, the environmental pollution problem of internal combustion engine vehicles has become prominent day by day, especially the front-rear drive vehicles with large displacement engines. Influenced by increasingly stringent fuel consumption and emission regulations, influential automobile enterprises at home and abroad have turned to the hybrid technology for front-rear drive vehicles. Through the investigation and research on the existing energy-saving technologies of hybrid electric vehicles, this paper summarized the typical front-rear drive hybrid electric vehicles and technological solutions, analyzed the powertrain architecture principle, key assembly parameters, advantages and disadvantages of hybrid technologies as well as the future development trends and challenges. Promoting technological level and development are major trends for front-rear drive hybrid electric vehicles.

Key words: Front-rear drive, Hybrid power, Technological roadmap, Architecture, Development trend

0 引言

近20年,我国工业化水平和社会经济取得了前所未有的大发展,这很大程度地促进了我国汽车产业快速发展,伴随而来的是日趋严重的全球气候变化与空气污染问题。为应对气候变化、推动绿色发展,2020年10月,中国汽车工程学会发布了《节能与新能源汽车技术路线图2.0》(简称“路线图2.0”)^[1]。

根据路线图2.0的规划,至2035年,我国汽车产业要实现全面电动化转型,节能与新能源汽车年销量将各占50%,传统能源乘用车新车100 km平均油耗需达到4.0 L

(WLTC工况),并100%实现混合动力化^[2]。混合动力技术将在很长时间内持续扮演节能降碳重要角色。

本文通过对现有混合动力汽车节能技术调查研究,总结了典型前置后驱混合动力车型与技术方案,简要分析了前置后驱混合动力车型的混合动力技术发展趋势,为前置后驱混合动力车型开发和技术路线选择提供参考。

1 混合动力技术背景与商业化发展

1.1 技术背景

虽然混合动力汽车并不是一个新概念,但混合动

力技术仍属于先进且复杂的汽车节能技术,如果总成选型与参数匹配不合理,便难以将发动机或电机的好性能发挥出来^[3]。

混合动力汽车优化了传统内燃机汽车的油耗和排放,并且与纯电动汽车比,混合动力汽车成本低,更符合现阶段汽车市场发展需求,成为汽车企业产品技术升级的重要选择^[4-6]。

1.2 商业化发展

从20世纪90年代初开始,以美国、欧洲和日本为代表的国家和地区都在不断加大汽车产业研发投入与政策扶持力度^[7-9]。1997年,丰田汽车公司在日本推出了第一代普锐斯,并一直致力于混合动力技术发展,持续开发行业领先的混合动力技术^[10]。

因混合动力汽车优势明显,继丰田之后,各国加快了混合动力汽车产品化进程,如本田公司的Insight、福特公司的Prodigy、通用公司的Precept、戴姆勒克莱斯勒的ESX3等,都是具有代表性的车型^[11]。

随着混合动力技术的不断发展,目前许多国内汽车企业也都陆续推出混合动力汽车产品,较为典型混合动力汽车产品为比亚迪的秦和唐、吉利博瑞、广汽传祺等^[12]。按照动力系统结构形式划分,主要分为串联式混合动力系统、并联式混合动力系统和混联式混合动力系统。伴随着新一代混合动力技术产品力迅速提升,且价格持续下降,市场认可度大幅增加。

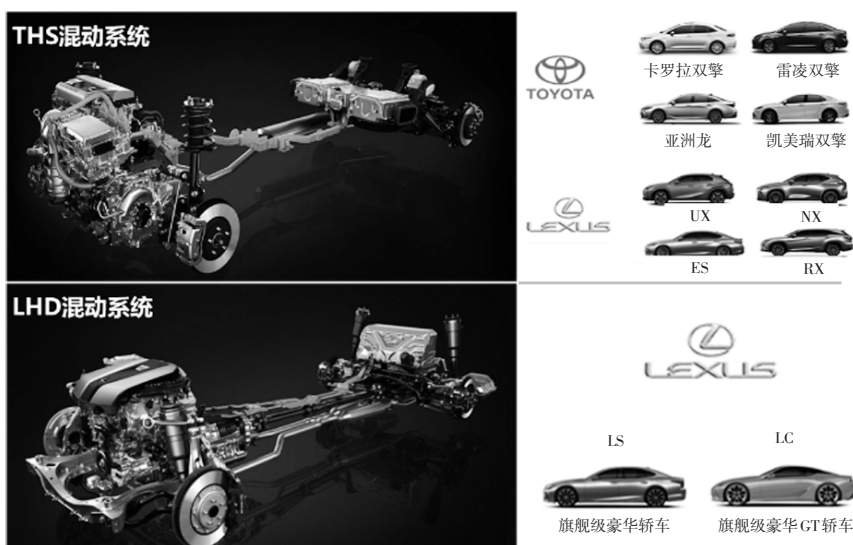


图1 丰田混合动力系统^[14]

为了使雷克萨斯车型在动力性能上更符合豪华车定位,2006年,丰田基于第3代THS开发了纵置双电机变速器E-CVT L110,进一步扩大速比范围,用两种速比分别满足高低速的动力性,其构型如图2所

2 前置后驱混合动力技术现状

2.1 主流前置后驱混合动力系统

近年,随着互联网发展和年轻富裕阶层的崛起,豪华车市场已经出现了很多变化,科技元素和环保理念被提升到了前所未有的高度,全球各大汽车公司也纷纷在纵置车型上推出混合动力车型。以丰田、本田为代表的日本主流汽车品牌中,以PS+P3、P1+P3双电机混联式混动构型为主,以奔驰、宝马、奥迪为代表的欧洲主流汽车品牌中,则以P2并联式混合动力构型为主^[13],国内外主流前置后驱混合动力技术如表1所示。

表1 国内外主流前置后驱混动系统

系统名称	结构形式	生产企业	代表车型
LHD	功率分流式	日本丰田	LC500h
SH-AWD	串并联式	日本本田	AcuraMDX
GRE	功率分流式	美国通用	Cadillac CT6
eDrive	并联式	德国宝马	X5 xDrive45e
越野超级混合动力	并联式	中国长城	坦克500 PHEV

2.2 丰田LHD混合动力系统

丰田混合动力系统(Toyota Hybrid System, THS)是领先的混合动力技术,这套系统目前已发展至第4代,主要应用在前置前驱车型上。而作为丰田旗下豪华品牌,雷克萨斯所采用的混合动力系统(Lexus Hybrid Drive, LHD),主要应用在前置后驱车型上^[14],如图1所示。

示。

E-CVT L110由双电机、动力分配单元以及2级电机减速装置组成,2级减速器连接到驱动电机输出端,对驱动电机进行调速^[13]。

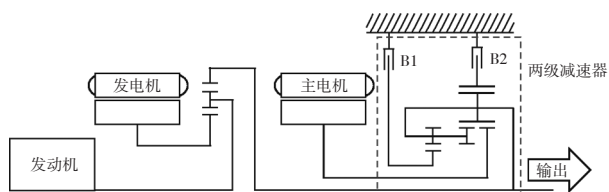


图2 丰田E-CVT L110混合动力构型示意^[15]

随着技术发展,其2级混合动力系统进一步升级为多级混合动力系统,在2022款的LC/LS车型上,搭载的是带4级减速器的E-CVT L310,其构型如图3所示。

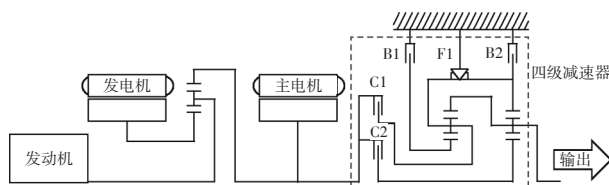


图3 丰田E-CVT L310混合动力构型示意^[15]

E-CVT L310与E-CVT L110相比主要变化在减速器的布置位置与级数方面,首先减速器由2级升级为4级,另外就是减速器由驱动电机后端移到了整个系统的后端,从而扩大发动机工作范围。两代混合动力系统的发动机转速区域如图4所示。

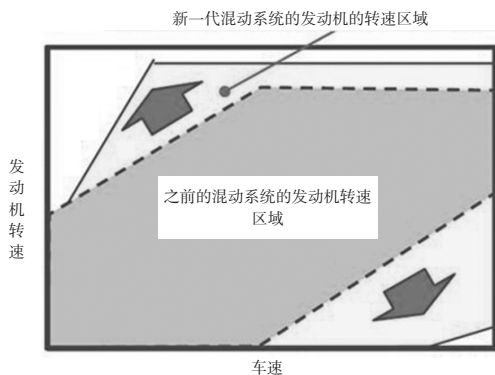


图4 两代混合动力系统发动机转速区域^[14]

混合动力系统变速器趋向多级化发展,从最低挡位充分挖掘加速能力,总输出扭矩比上一代增加50%,0~100 km/h加速时间降低13%^[14],在最高挡位让高效区覆盖到最频繁使用工况,这样做可以获得更强劲的动力性和更优秀的燃油经济性。

搭载LHD混合动力系统车辆的工作模式如表2所示。

经过历代发展,丰田前置后驱混合动力系统性能不断迭代升级,其主要参数对比如表3所示。

丰田LHD混合动力系统始终坚持功率分流构型,电机系统通过转子磁路及定子扁线设计、逆变器芯片技术及冷却技术,实现产品向高性能和小型化迭代升级,转矩和功率密度均有提升。

表2 丰田LHD混合动力系统工作模式

工作模式	总成状态			
	发动机	发电机	主电机	动力电池
起动发动机	起动	驱动	停机或驱动	放电
低速行驶或低负荷行驶	停机	停机	驱动	放电
正常行驶	驱动	发电	驱动	充电
全力加速	驱动	发电	驱动	放电
滑行或制动	停机或保持转速	停机	发电	充电

表3 丰田LHD混合动力系统主要参数^[15]

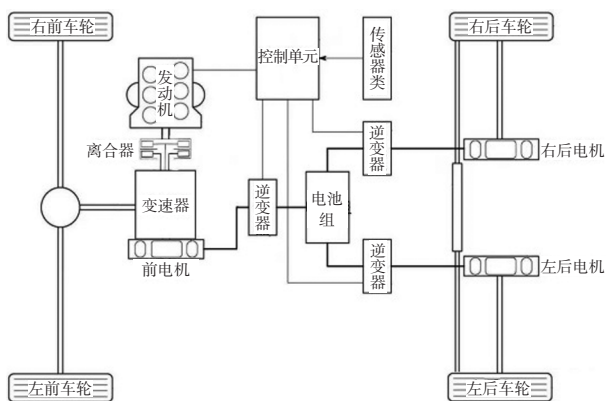
混合动力系统		L310	L110
系统总功率/kW		264	254
发动机	排量/L	3.5(V6)	
	峰值功率/kW	220	218
	峰值扭矩/N·m	350	368
驱动电机	类型	永磁同步电机	
	峰值功率/kW	131	147
	峰值扭矩/N·m	300	275
电池	类型	锂电池	镍氢电池
	电量/kW·h	1.1	1.3

电池系统在继续推进成熟的镍氢电池产品同时,逐渐发展三元锂离子电池技术。虽然在技术成熟度、安全性和使用寿命方面,镍氢电池有着显著的优势,但相对较小的能量密度难以满足更高电动化程度需求。随着锂电池技术的高速迭代,不仅弥补了其相对镍氢电池技术的不足,并且以高性能、高效率的优势,满足丰田LHD混合动力系统迭代高功率电机的技术需求。

2.3 本田SH-AWD混合动力系统

目前,本田混合动力系统包括3种,除了用于低端车型的i-DCD(intelligent Dual Clutch Drive)系统,用于中端车型的iMMD(intelligent Multi Mode Drive)系统外,还包括应用于高端车型的SH-AWD(Sports Hybrid-Super Handling-All Wheel Drive)系统^[16],其系统原理如图5所示。

SH-AWD混合动力系统本质上,仍属于串并联式混合动力系统,前轴配置了3.5 L排量的直喷发动机,匹配内置电机的7速双离合变速器,可认为是动力强劲版的i-DCD系统,在传递扭矩方面得到升级,并且i-DCD采用的是干式离合器,而SH-AWD采用的是湿式离合器。后轴为内置左右相同输出功率且独立控制的双电机单元^[17]。

图5 本田SH-AWD混合动力系统^[16]

搭载SH-AWD混合动力系统的车辆工作模式如表4所示。

目前本田SH-AWD混合动力系统主要应用于Acura MDX车型,主要参数如表5所示。

SH-AWD四驱混合动力系统没有分动箱、中央差速器和差速锁,SH-AWD通过对前后轴动力系统的控制协调,可以实现四轮驱动,并且通过调整后轴处2台电机的动力输出,可以在左右后轮之间形成扭矩差,从而提升弯道性能。

表4 本田SH-AWD混合动力系统工作模式

工作模式	总成状态			
	发动机	前电机	后电机	动力电池
起步或低速巡航	停机	停机	驱动	放电
缓慢加速或高速巡航	驱动	发电	停机	充电
全力加速	驱动	发电	驱动	放电
滑行或制动	停机或保持转速	发电	发电	充电
四驱行驶	驱动	发电	驱动	放电

表5 本田SH-AWD混合动力系统主要参数^[16]

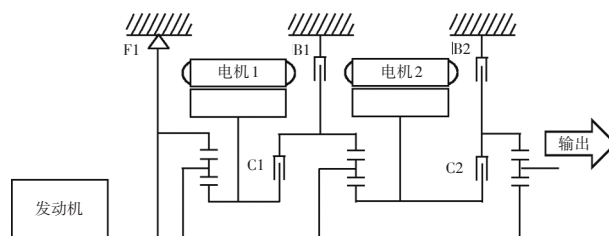
混合动力系统		SH-AWD
系统总功率/kW		281
发动机	排量/L	3.5
	峰值功率/kW	231
	峰值扭矩/N·m	367.4
前电机	类型	永磁同步
	峰值功率/kW	35
	峰值扭矩/N·m	148
后电机	类型	永磁同步
	峰值功率/kW	27(×2)
	峰值扭矩/N·m	73(×2)
电池	类型	锂电池
	电量/kW·h	1.3

2.4 通用GRE混合动力系统

通用公司是除了丰田以外,少数几家掌握功率分流混合动力先进技术的主机厂之一。2006年,通用联合戴姆勒、宝马及克莱斯勒公司,共同推出双模式混合动力系统,该系统由三行星排双电机组成,与丰田混合动力系统的单模式相比,结构更为复杂,也成就了动力分流最优化的通用公司新能源电驱动系统平台,能够满足HEV、PHEV、REEV车型性能需求^[13]。

基于相同的构型原理,通用公司就效率更高、动力性更好的双星排双电机、三行星排双电机多种结构进行了更为深入的研发^[18],并陆续应用到量产车型上。

而在Cadillac CT6混合动力车型上,搭载的是后轮驱动混合动力系统(Global Rear-wheel-drive EVT, GRE),这是一套更为复杂的混合动力系统,其构型如图6所示。

图6 通用GRE混合动力构型示意^[13]

这套混合动力系统采用三行星排双电机结构,发动机、双电机可以通过不同的离合器分别接入其中的行星齿轮架、太阳轮和外齿圈^[9],更多的行星齿轮和离合器,意味着更大的变速范围以及更灵活的动力分配模式。

通用GRE混合动力系统和丰田LHD混合动力系统同属功率分流式混合动力系统,但前者具有输入动力分流和混合动力分流多种模式,后者只有输入动力分流一种模式。通用GRE混合动力系统中具有发动机、电机1和电机2动力源,通过3个行星齿轮和5个离合器,能够实现4种纯电模式和7种增程模式^[20],各个模式间存在重叠,保证在全速度区间内都能够得到良好的平顺性及输出特性,最终实现混合动力版车型CT6能耗与性能的最佳平衡,解决低速和高速2种工况下的最佳效率不能兼顾的问题。

通用GRE混合动力系统其主要参数如表6所示。这套混合动力系统中电机1为交流感应电机,电机2为永磁同步电机,这样的组合在保证高功率输出的同时,大幅度降低稀土磁性材料的使用,从而降低了成本。

表6 通用GRE混合动力系统主要参数^[21]

混合动力系统		GRE
系统总功率/kW		250
发动机	排量/L	2.0
	峰值功率/kW	203
	峰值扭矩/N·m	400
双电机	类型	交流感应&永磁同步
	总峰值功率/kW	178
	总峰值扭矩/N·m	470
电池	类型	锂电池
	电量/kW·h	18.4

2.5 宝马eDrive混合动力系统

宝马早在2008年开始电动化进程,在陆续推出多款测试车后,于2013年正式量产BMW i品牌下2款混

合动力车型i3和i8。经过多年发展,如今宝马已在3系、5系、7系、X5车系上推出多款混合动力车型,其发展历程如图7所示。

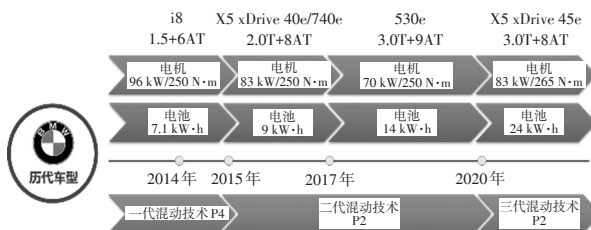


图7 宝马混合动力技术发展历程

宝马混合动力系列车型的关键技术在于具有电机和变速器结构一体化的典型P2构型混合动力8AT技术,8AT中传统变速器原来安装液力变矩器的位置被一台永磁同步电机取代,其构型如图8所示。

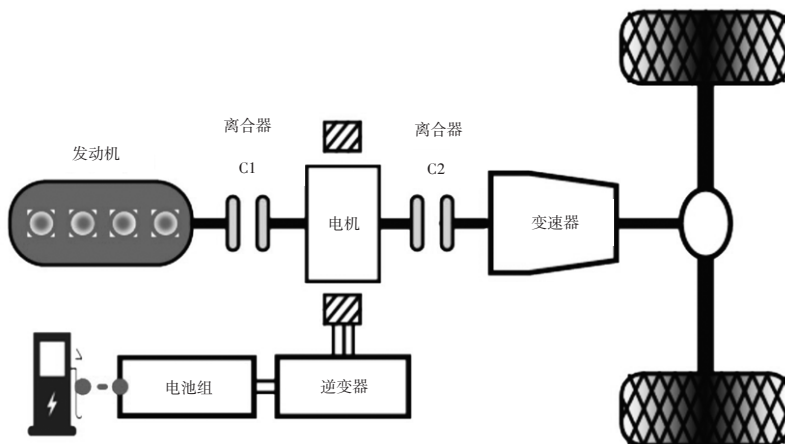


图8 eDrive混合动力构型示意^[22]

随着全球各地对新能源汽车需求增多,宝马推出了以电动机、高压锂离子电池和智能能量管理系统3大部件为核心的eDrive混合动力技术。这种并联式P2构型,在离合器与变速器之间增加电机,通过电机实现纯电动行驶、助力和调节发动机工作点以及制动能量回收功能^[22]。

搭载eDrive混合动力系统的车辆工作模式如表7所示。

表7 宝马eDrive混合动力系统工作模式

工作模式	总成状态		
	发动机	电机	动力电池
起步或低速巡航	停机	驱动	放电
缓慢加速或高速巡航	驱动	发电	充电
全力加速	驱动	驱动	放电
滑行或制动	停机或保持转速	发电	充电

宝马eDrive混合动力系统主要参数如表8所示。

宝马eDrive混合动力系统对整车传动系统改动小、成本低、结构简单、控制方便,发动机和电机均可单独作为动力源工作,不仅能提高系统可靠性,还能充分发挥欧洲汽车主机厂在传统内燃机动力系统上的技术积累和技术优势。

表8 宝马eDrive混合动力系统主要参数^[21]

混合动力系统		eDrive
系统总功率/kW		290
发动机	排量/L	3.0
	峰值功率/kW	210
	峰值扭矩/N·m	450
电机	类型	永磁同步电机
	峰值功率/kW	83
	峰值扭矩/N·m	265
电池	类型	锂电池
	电量/kW·h	24

2.6 长城越野超级混合动力系统

2022年,长城汽车正式发布了越野超级混合动力架构,与宝马eDrive混合动力系统相似,同样采用P2并联式混合动力构型,搭载自主研发的9HAT混合动力变速器,匹配2.0T和3.0T两种高热效率发动机,在提供强劲越野动力的同时,满足用户对低油耗、长续航里程的核心需求,从而兼容户外越野与城市出行需求,其主要参数如表9所示。

表9 长城越野超级混合动力系统主要参数^[21]

混合动力系统		越野超级混合动力
系统总功率/kW		309
发动机	排量/L	2.0
	峰值功率/kW	180
	峰值扭矩/N·m	380
电机	类型	永磁同步电机
	峰值功率/kW	129
	峰值扭矩/N·m	400
电池	类型	锂电池
	电量/kW·h	19.9

3 纵置混合动力技术发展趋势

3.1 纵置混合动力技术发展前景广阔

在低碳经济的推动下,混合动力汽车既具有传统燃油汽车与新能源汽车的双重优势,又在节能减

排与环保方面有着出色表现。同时,伴随着电池、电机和电控系统及发动机的技术进步,纵置混合动力车型竞争力持续提升,已凸显出比燃油车明显的竞争优势。目前,主流纵置混合动力系统构型对比如表10所示。

基于当前主流前置后驱混合动力技术衍变历程,以及智能化、电动化的协同发展分析,总结发展趋势如下:

(1)双电机混合动力构型可实现在多种工作模式下,动力性和经济性能得到更好地平衡,符合混合动力汽车取代传统燃油车的发展需求。

(2)电机应用高性能电磁拓扑、多层扁线绕组、工况效率定向优化技术,实现混合动力系统高性能和小型化。

(3)变速器采用基于行星排的多挡传动构型、大容量离合器和制动器无感结合、高效液压及热管理系统方案,在结构紧凑、换挡舒适、效率提升方面持续升级。

(4)动力电池功率密度及能量密度持续提升,带来体积不断减小,结合高效液冷技术,可提升电力驱动工况占比,并降低噪声影响。

(5)通过功率分配策略合理优化,以及基于车路协同的能量管理策略,更好地实现混合动力系统在不同工况下的适应能力。

表10 混合动力系统构型对比

构型类型	内燃机	能量传递效率	电池	控制	环境污染	结构特点
串联式	功率较大,工作转速范围小	无法直驱车轮,降低了能量利用率	电量高、成本高、增加整车质量	动力控制系统简单	小	总成功率均等于汽车的总功率需求,系统规模较大
并联式	功率较小,工作转速范围大	动力直接传递到车轮,能量传递效率较高	结构尺寸比串联式小(约1/3)	动力控制系统及机械切换系统相对复杂	较大	结构简单、易改装,但对变速箱依赖较大
混联式	功率较小,工作转速范围介于串联式与混联式之间	动力直接传递到车轮,能量传递效率较高	对电池依赖小	动力控制系统及机械切换系统最复杂	中	机构复杂,集成难度较大

3.2 混合动力汽车技术研发竞争加剧

当前,世界各国都已经注意到了发展混合动力汽车的必要性,在未来的一段时间内,混合动力汽车发展必将面临着激烈竞争。国内外很多新技术已经投放市场,各国也在多方面加强对于混合动力汽车技术开发的政策倾斜,已经进入产业化阶段,技术发展相当迅速。竞争会带来进步,未来我国混合动力汽车无论是在技术提升与创新、行业扶持和资金投入方面都会获得更多机遇,而混合动力技术的迅速迭代也会大大降低生产成本、增强市场竞争力、提升市场占有率,

未来发展前景十分广阔。

4 结束语

随着社会的快速发展,人们对于环保问题日益重视。前置后驱车型的混合动力化发展,能更好地切合与满足用户在节能与环保上的需求,更加受到青睐,将会成为中大型豪华车向新能源汽车发展过渡阶段的重要支撑桥梁。因此,大力促进高油耗车型混合动力化发展,提升前置后驱混合动力技术水平,是前置后驱豪华车市场发展趋势。

参考文献

- [1] 袁妮,张振鼎,房旭.新形势下我国新能源汽车政策现状与发展趋势研究[J].时代汽车,2020,353(5):93-94.
- [2] 中国汽车工程学会.节能与新能源汽车技术路线图2.0[M].北京:机械工业出版社,2020.
- [3] 孙勇.混合动力汽车动力系统参数匹配及优化研究[D].沈阳:沈阳理工大学,2020.
- [4] TALARI K, JATROTHU V N. A Review on Hybrid Electrical Vehicles[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2022, 72(2): 131-138.
- [5] KARUNAMOORTHY B, SHOBANA S. Design and development of hybrid electric vehicle[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 45(P9): 8166-8169.
- [6] HOANG P, OZKAN G, BADR P, et al. A Prognostic Based Control Framework for Hybrid Electric Vehicles[J]. SAE Technical Paper, 2022-01-0352, 2022.
- [7] 刘世磊,张厚明.国外电动汽车产业发展现状及启示[J].中国国情国力,2020(10):63-66.
- [8] 张琦.并联插电式混合动力汽车能量优化管理策略研究[D].秦皇岛:燕山大学,2020.
- [9] 赵昶博.混合动力专用发动机燃烧优化及其整车匹配[D].长春:吉林大学,2020.
- [10] KANAYAMA T, YANAGIDA E, KANO S, et al. Development of New Hybrid System for Mid-Size SUV[J]. SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility, 2020, 2(6): 3356-3363.
- [11] 李凯.混合动力汽车现状分析[J].汽车实用技术,2018(18):40-42.
- [12] 王崧浩,钟发平,吴纯华.乘用车混合动力技术发展现状及趋势分析[J].汽车实用技术,2020(13):266-268.
- [13] 裴焕鑫.功率分流式混合动力汽车分层拓扑图建模与构型方案的研究[D].重庆:重庆大学,2019.
- [14] KATO S, ANDO I, OHSHIMA K, et al. Development of Multi Stage Hybrid System for New Lexus Coupe[J]. SAE International Journal of Alternative Powertrain, 2017, 6(1): 136-144.
- [15] OKUDA K, YASUDA Y, ADACHI M, et al. Development of Multi Stage Hybrid Transmission[J]. SAE International Journal of Alternative Powertrains, 2017, 6(1): 77-83.
- [16] FUKAZU T, MATSUOY. Development of Electric Powertrain for New Model Hybrid Sports Utility Vehicle[J]. SAE Technical Paper, 2017-01-1158, 2017.
- [17] 付磊,张昶.本田混合动力技术分析[J].汽车文摘,2019(1):5-9.
- [18] MORRIS R L. Multivariable control of hybrid powertrain dynamics at GM[J]. Advanced Control for Applications: Engineering and Industrial Systems, 2021, 3(4): 1-15.
- [19] CAMMALLERI M, CASTELLANO A. Analysis of hybrid vehicle transmissions with any number of modes and planetary gearing: kinematics, power flows, mechanical power losses[J]. Mechanism and Machine Theory: Dynamics of Machine Systems Gears and Power Transmissions Robots and Manipulator Systems Computer-Aided Design Methods, 2021, 162(1): 1-19.
- [20] 唐鹏.行星排式多模混合动力系统设计方法研究[D].重庆:重庆交通大学,2020.
- [21] MARKLINES.长城汽车发布越野超级混合动力系统[EB/OL].(2022-11-11)[2023-05-10].<http://www.marklines.com>.
- [22] 罗勇,陈国芳,韦永恒,等.P2构型PHEV的规则型能量管理策略[J].重庆理工大学学报(自然科学),2022,36(3):28-35.

【作者简介】

张明宇,中国第一汽车集团有限公司新能源开发院,硕士,工程师,主要从事新能源系统集成开发。

E-mail: zhangmingyu@faw.com.cn