自主品牌混动总成现状及发展趋势

□ 中汽研（天津）汽车工程研究院有限公司/张先锋 杨建军 陈红涛 聂国乐

本文基于一些研究和思考，针对我国自主品牌混合动力车型技术水平的发展现状、面临的挑战，以及未来在构型选择等方面，提出三项建议，供自主品牌汽车产品研发参考。

中国汽车燃油消耗量目标逐步向国际先进水平靠近，伴随着双积分政策的推行，汽车产业的节能、增效技术水平面临新的挑战。混合动力常被视为从传统发动机到纯电动动力系统的过渡技术，但这种过渡无疑将是一个长期的过程，必然成为满足未来节能环保法规的技术选项之一。

混合动力技术发展驱动要素

1.严峻的能源与环境形势

我国能源结构、原油的对外依存度和排放污染等是汽车行业发展的根本前提，也是政府制定政策、企业选择技术路线的根本依据，持续性节能减排是全行业内应承担的社会责任。我国能源与环境形势呈现三大特征：

1）“多煤少油缺气”是我国基本国情，能源结构中煤炭占62%，石油占18.3%，天然气占6.4%，核电和可再生能源只占13.3%。

2）国家“蓝天保卫战”要求各地出台实施大气污染防治条例及其行动方案，机动车主要污染物排放多年来维持在每年4 500万t的水平（见图1），行业能源与环境形势十分严峻。

3）2010—2018年，中国原油进口依赖度不断攀升（见图2），2018年5

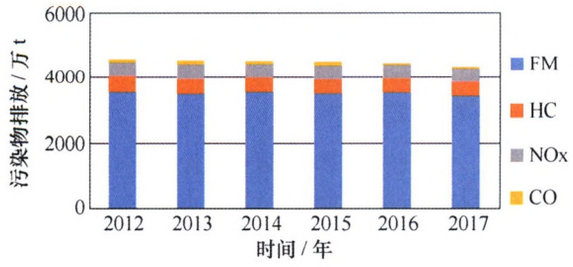

图1 中国机动车污染物排放量

图2 中国原油进口依赖度

月进口原油达70.9%，远超国际安全警戒线（原油进口占比不超过50%）。

2.法规政策及技术路线

（1）法规政策　第Ⅳ阶段油耗法规及《中国制造2025》要求乘用车（含新能源车型）企业整体油耗水平在2020年、2025和2030年分别降至5L/100km、4L/100km和3.2L/100km。节能目标的实现必然要通过多条技术路径达成，而纯电动车型存在电池寿命、续驶里程、充电设施不完善等问题，无疑推动了混合动力汽车的发展。2018年工信部颁布实施《乘用车企业平均燃油消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》和新能源汽车补贴退出计划，进一步促进乘用车的节能减排水平，大力发展新能源汽车，加快了混合动力汽车的研发进程。

（2）节能与技术路线　2017年12月中国汽车工程研究院牵头，通过分析日本、美国和欧洲等国家和地区的节能汽车发展路径和国内汽车节能技术发展状况，详细制定了乘用车、商用车、核心零部件和车用燃油技术等方面技术路线图，描绘了我国汽车产业技术未来15年的发展蓝图，其中混合动力技术路线见表1。

表1　混合动力节能与新能源技术路线

项目	内容	2020年	2025年	2030年
发展目标	乘用车新车百公里平均油耗/L	5.0	4.0	3.2
	节能汽车份额（%）	30	40	50
技术路径	节能乘用车	1）提高发动机的热效率 2）优化动力总成匹配 3）降低传动损失 4）减少整车能量损耗 5）混合动力发动机专用化 6）提高混合动力系统效率		
发展重点		1）开发48V系统（燃油效率提高12～15%） 2）混合动力发动机技术 3）混合动力机电耦合技术		
ICE车的节能路径	大力发展混合动力	1）2020年占比达到8%，油耗4L/100km 2）2025年占比达到20%，油耗3.6L/100km 3）2030年占比达到25%，油耗3.3L/100km		
	提高电子电器的节能效果	1）大力发展48V系统 2）标配电动空调、EPS等 3）持续电能损耗		
节能汽车的技术创新要求	应用技术	1）混合动力专用发动机 2）48V系统和关键零部件研制		

自主品牌混合动力技术路线解析

1.PHEV构型分析

2018年中国PHEV销售排名前10名中，自主品牌在SUV领域有比亚迪宋DM和唐（新能源），荣威eRX5和传祺GS4等7款车型，在轿车领域有比亚迪秦DM，荣威ei6和e950，吉利博瑞GE等5款车型。根据市场销量表现，本文重点以比亚迪、吉利、广汽、上汽、长城、长安和理想汽车的重点产品进行PHEV构型解析。

（1）单电动机并联驱动系统　以吉利P2.5为代表的单机并联构型，搭载于吉利领克01新能源车型上，如图3所示。该构型结构紧凑，解决了P2耦合箱的轴向尺寸问题，因电动机可以利用变速器多挡位驱动，可以选择高转速小体积的电动机。P2.5相对于P2构型，因为有变速器离合器控制发动机到变速器的动力传递，在发动机和电动机的动力耦合时，可以做到更自然顺畅，兼顾了动力性和经济性，技术参数见表2。

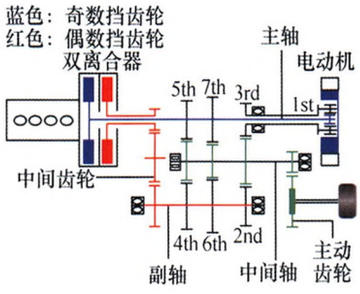

图3　吉利领克P2.5系统结构

表2　吉利领克主要技术参数

类别	项目		参数
动力总成	驱动电动机	最大功率/kW	60
		最大转矩/N·m	160
	电池	容量/kWh	9.4
动力性经济性	0～100km/h加速时间/s		7.3
	纯电续驶里程/km		51
	条件B百公里油耗/L		5.17
	百公里综合油耗/L		1.7

（2）双电动机串并联驱动系统　双电动机并联驱动系统以广汽GMC和上汽EDU为代表。广汽

GMC系统（见图4）采用1.5L Atkinson发动机和G-MC机电耦合系统。G-MC系统将发动机、驱动电动机、离合器、传动齿轮以及差速器集成为一体，采用发动机与发电机同轴、双电动机并排布置的结构，单速比传动。

上汽EDU系统（见图5）是一套双电动机、双离合、双速比的电驱动自动变速器。EDU系统主要包括与发动机直接相连的ISG电动机、离合系统、换挡系统和齿轮传动系统等。双电动机并联驱动系统，因两个电动机的功率选型灵活，传动效率高，可以用功率较大的电动机来驱动车辆，该系统最主要的优势是纯电驱动和动能回收的效率比较高，且发动机在其效率较高的工况可直驱，避免了机械能和电能的多次转化，提高综合效率。但劣势是驱动电动机的工作区域不能优化，发动机与电动机模式切换时冲击较大。应用的车型技术参数见表3。

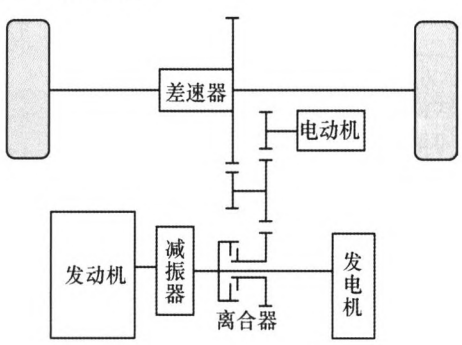

图4 广汽GMC系统构型

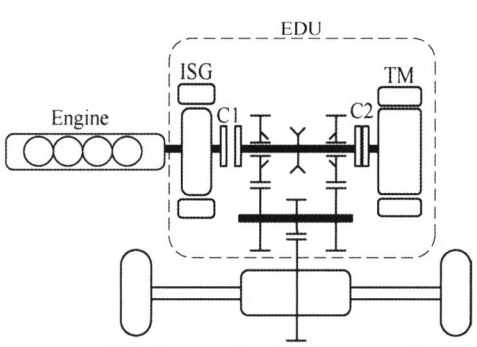

图5 上汽EDU系统构型

（3）双电动机混联驱动系统 以长城Pi4平台为代表的双电动机混联（见图6），实现“分轴电子四驱”功能，具有灵活、多变的特性，可以搭载更多的动力组合。在Pi4平台上还能转化为P0、转化为P0+P*X*、转换高压或低压为P*X*+P4等。Pi4平台下的首款车型WEY为P0+P4构型，其技术核心是插电混动系统和智能四驱技术（前后轴的完全解耦），能够实现前驱、后驱和混动四驱三种功能，应用车型长城WEY－P8技术参数见表4。

表3 广汽GMC和上汽EDU主要技术参数

类别	项目		技术参数	
			广汽传祺GS4	上汽荣威EDU
动力总成	发动机	排量/L	1.5（自吸）	1.5T
	变速器	类型	单挡变速器	2挡变速器
	驱动电动机（总）	最大功率/kW	130	56
		最大转矩/N·m	300	318
	电池	容量/kWh	12	12
动力性经济性	0～100km/h加速时间/s		8.6	7.8
	纯电续驶里程/km		58	60
	条件B百公里油耗/L		5.31	5.44
	百公里综合油耗/L		1.4	1.6

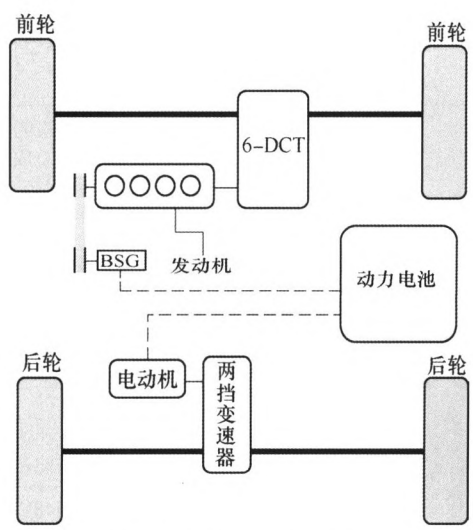

图6 长城WEY－P8系统架构

（4）多电动机混联驱动系统 以长安CS75 PHEV和比亚迪DM系统为代表的多电动机驱动，在满足节油的同时，突出车辆动力性。长安CS75为插电式混合动力四驱SUV(见图7)，搭载1.5T发动机、3台电动机（由1.5T汽油机、70kW的电动机（P1）、前轴的GKN第二代单级减速器及后端的70kW电动机（P3）、后轴的舍弗勒两级减速器和80kW的驱动电动机（P4）组成），长安CS75技术参数见表5。

表4　长城WEY－P8主要技术参数

类别	项目		技术参数
动力总成	发动机	排量/L	2.0T
		最大功率/kW	172
		最大转矩/N·m	360
	变速器	类型	6DCT
	驱动电动机（总）	最大功率/kW	100
		最大转矩/N·m	245
	电池	容量/kWh	12.96
动力性经济性	0～100km/h加速时间/s		6.5
	纯电续驶里程/km		50
	条件B百公里油耗/L		6.9
	百公里综合油耗/L		2.3

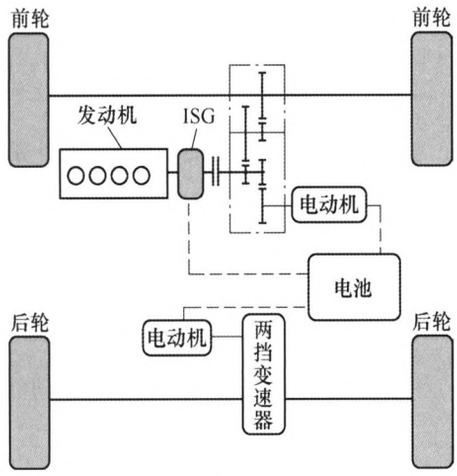

图7　长安CS75系统架构

比亚迪DM系统（见图8）具有一定代表性，历经三代发展，从双电动机串并联构架、基于多速DCT的P3+P4并联架构到基于多速DCT的P0+P3+P4混联架构，第一代主攻方向燃油经济性，第二代主攻方向变成了动力性，第三代进一步提升经济性和平顺性。第三代车型以比亚迪唐为代表，由发动机BSG电动机及前后驱动电动机组成，实现P0+P3+P4的四驱状态、P0+P3前驱状态以及P0+P4四驱状态三种组合，同时又通过不同的串并联实现多种混动模式，实现了百公里加速5s内、电动四驱、百公里油耗＜2L的性能目标。比亚迪唐技术参数见表5。

（5）双电动机串联（增程）驱动系统　理想one双电动机串联（增程）驱动系统是在纯电平台上发展的构型（见图9），由前后双电动机+内燃机组成

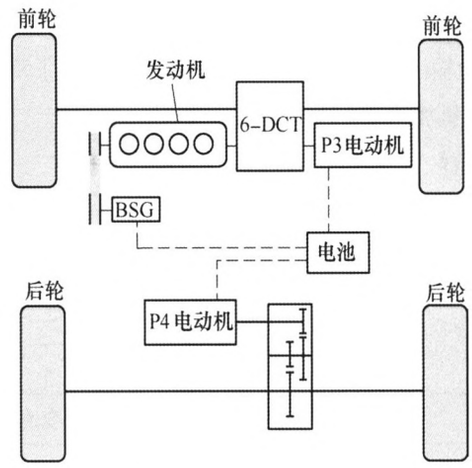

图8　比亚迪DM系统架构

表5　比亚迪唐和长安CS75主要技术参数

类别	项目		技术参数	
			比亚迪唐（新能源）	长安CS75
动力总成	发动机	排量/L	2.0T	1.5T
		最大功率/kW	172	115
		最大转矩/N·m	360	225
	变速器	类型	6DCT	单挡变速器
	驱动电动机（总）	最大功率/kW	100	220
		最大转矩/N·m	245	515
	电池	容量/kWh	12.96	12.96
动力性经济性	0～100km/h加速时间/s		4.5	8.6
	纯电续驶里程/km		100	60
	条件B百公里油耗/L		8	5.44
	百公里综合油耗/L		1.6	1.6

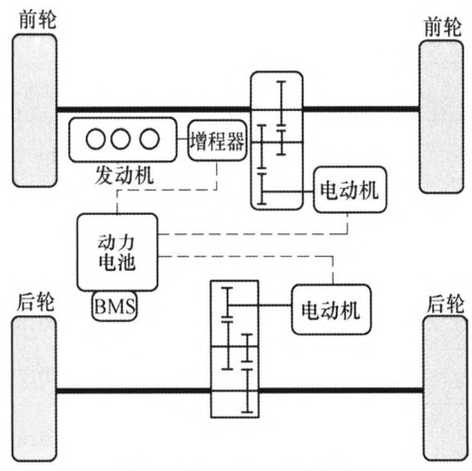

图9　理想one动力系统架构

的带有增程器发电系统组成的纯电四驱驱动系统，该车的最大输出功率为240kW，最大转矩则达到了530N·m，百公里加速时间为6.5s，具体见表6。

表6 理想One（2019款）主要技术参数

类别	项目		技术参数
动力总成	发动机	排量/L	1.2T
		最大功率/kW	–
		最大转矩/N·m	–
	变速器	类型	单挡变速器
	驱动电动机（总）	最大功率/kW	240
		最大转矩/N·m	530
	电池	容量/kWh	40.5
动力性经济性	0～100km/h加速时间/s		6.5
	纯电续驶里程/km		180
	条件B百公里油耗/L		8
	百公里综合油耗/L		1.6

2.HEV构型分析

全球主要的HEV平台有丰田THS、本田i-MMD、日产e-Power和通用Voltec。由于受到技术能力限制、国家财政补贴导向等原因，自主品牌推出HEV构型混动产品寥寥无几，目前仅有科力远CHS构型。科力远利用拉维纳行星排结构，研制出动力分流产品样机，规避了丰田专利，没有使用专用高效发动机，在吉利原车型平台上做出NEDC工况下4.9L/100km油耗的系统。当前受到双积分和补贴退出政策影响，自主品牌企业也在加紧规划和推出HEV车型，具体计划见表7。

3.48V系统构型分析

8V系统架构基于48V电压平台开发，包括BSG电动机、DC/DC转换器和48V 电池三大部件（见图10）。

2016年长安汽车推出了全球首款48V轻混量产车型——逸动蓝动版，随后，江淮汽车推出了配装轻混系统的MPV—瑞风M4混合动力版。之后，宝骏、奇瑞、吉利和北汽等众多自主品牌均将轻混车型提上日程，具体见表8。

2018年，吉利推出的48V系统（见图11）具有代表性，可以实现以下8个功能：

（1）扩展停机 当车速较时，发动机停止运行，并使用BSG电动机进行停机辅助。

（2）舒适起动 快速、安静、平稳的起动。

（3）低速助力 用BSG电动机来提升汽车低速时的性能。

（4）停机滑行 车辆高速滑行时关闭发动机，脱

表7 自主品牌HEV布局

企业	研发过程中	曾推出车型	计划投放车型	具体进展
吉利	✓	✓	✓	1）与科力远合作推进HEV，至2017年末，搭载CHS混动系统的吉利帝豪EC7 HEV在大连、厦门、佛山试运行 2）2019年第2季度投放领克01的HEV车型
长安	✓	✓		1）2007年3月投产首款HEV产品杰勋，已停产 2）2010年后投放了长安志翔、CX30等车型 3）与吉利、科力远成立了HEV系统公司CHS
北汽	✓			2020年以后形成涵盖48V车型、HEVP和HEV等产品的产品结构
一汽	✓		✓	1）2018年1月，与科力远签署合作协议，双方在混合动力车用变速器、发动机、电池等核心零部件的研发领域展开合作 2）计划2019年发售搭载科力远混合动力系统的奔腾HEV
上汽	✓	✓		2011年投放荣威750HEV用于公务用车市场
东风	✓			2018年北京车展上表示将加快HEV产品研发
广汽	✓			2017年明确表示将打造EV、HEV两大平台架构
力帆	✓	✓		2016年北京车展上，展出了自主研发的力帆720 HEV车型

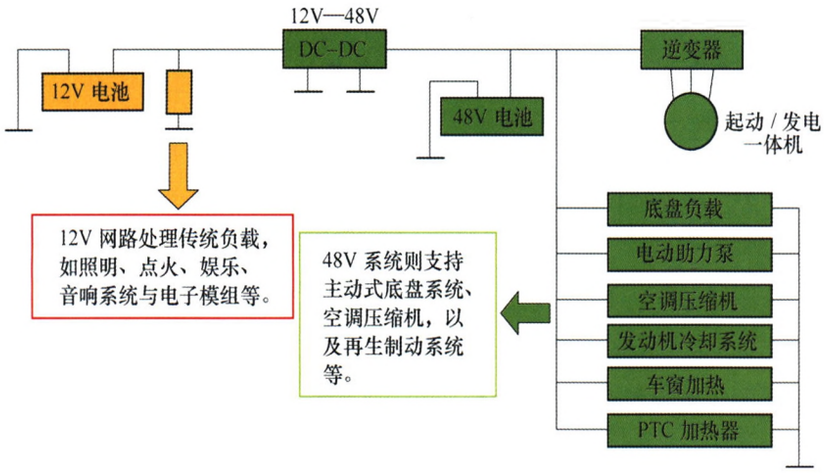

图10　48V系统结构

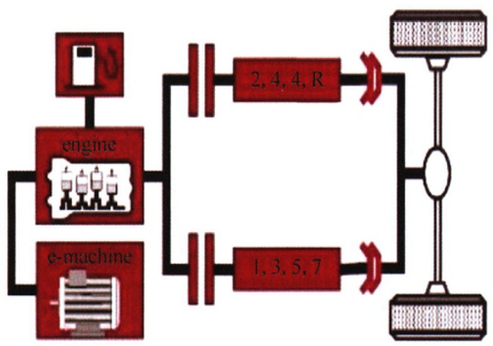

图11　吉利48V系统构型

开传动链。

（5）改变意图　发动机不工作时，可以根据驾驶员的意图快速重启发动机。

（6）全速助力　BSG电动机可以提升车辆高速超车能力。

（7）能量回收　滑行和制动的时候，可以将动能转化为电能储存在电池中。

（8）高效节能　该系统节能率高达15%，综合油耗为6.35L/100km。

自主品牌混合动力问题剖析

1.市场培育不够，配套服务不完善

国内在混合动力汽车方面起步较晚，市场还不太完善，混动汽车的数量还相对较少，消费者对于混

表8　48V系统国内主机厂布局

厂商	研发	推出系统	已投放车型	宣布投放计划	备注
中国一汽	✓				48V系统功能和48V电池已完成开发，针对2WD车型研发P2结构，针对4WD车型研发P0+P4结构
上汽集团	✓				研发中
长安汽车			✓		2016年11月投放了48V车型——逸动蓝动版 2018年5月投放了第二款车型——长安汽车CS55蓝动版
吉利汽车			✓		2018年4月投放了首款48V混动车型——博瑞GE MHEV
广汽集团	✓				研发中
北汽集团				✓	2019年末～2020年初，完成在售车型上追加搭载48V系统，实现在A、B级以及小型SUV产品上搭载48V系统
比亚迪		✓			2013年推出48V架构的绿混系统，采用48V磷酸铁锂电池
江淮汽车			✓		2017年11月投放了48V车型——瑞风M4
长城汽车			✓		2018年投放了搭载48V P0+P4架构的车型—P8
海马汽车				✓	计划2020年以后投放48V车型
众泰汽车	✓				截至2019年初，正在研发P0架构48V系统

动车型的实用性、安全性很难有直观的了解。混合动力汽车整体购买量较低，充电设施缺乏等相关的配套建设还存在很多问题，需要加快市场培育和设施改善。

2.混动技术方案多，产业化成果不突出

目前混合动力汽车的发展已经取得部分成果，但企业对于混合动力汽车的未来发展方向还没有达成一致的判断，技术方向分散，研发重点不明确。目前为止还没出现具有代表性和突破核心技术的产品，在部分企业生产的混合动力汽车中，核心技术及相关部件还需要进口，仍然依靠国外的技术，低水平、低效率的重复建设较多，资源浪费严重。

3.PHEV和HEV发展极不平衡

受到技术能力和政策导向，自主品牌产品集中在PHEV领域，比亚迪、上汽等在中国插电式混合动力车市场具有先发优势，但未来随着强大的合资车企参与市场竞争，自主品牌将面临新的困难。自主品牌企业需尽快将PHEV技术成果向HEV车型上应用和推广，不断缩小同合资企业在HEV车型的差距。

4.关键零部件依然掌握在合资企业手中

混动车型动力电动机、控制器、电池及其管理系统等关键零部件仍将依赖国外进口，还不能形成规模生产。以48V系统为例，博世、德尔福和大陆等国外供应商凭借先发优势，具备软件、硬件解决方案，甚至软硬件整体解决方案的能力，在市场上起主导作用，而国内供应商还不具备提供全套解决方案的能力，但在48V电动机和电池硬件方面，出现了宁德时代、比亚迪和万向A123等领头羊企业。

5.后补贴时代下成本控制

2018年以来，合资品牌已经开始对中国市场的布局，例如日产、大众和丰田推出了多款PHEV，未来自主品牌混动车型不仅要和合资企业竞争，而且还要和自身燃油车型竞争，将混动车型高的成本控制下来，提升市场竞争力，满足用户的性价比，是后补贴时代自主品牌应该重点考虑问题。

混合动力技术发展趋势分析

1.混合动力架构分析

当前全球的HEV、PHEV构型呈现百花齐放格局（见图12）。其中单电动机并联、动力分流、双电动机串/并联三大构型是主流技术方向，它们各有优缺点。

在FCV政策、双积分政策和取消新能源补贴政策等情况下，自主品牌将依据自身技术能力、供应商体系选择不同的技术路径满足政策法规要求，后续主要变化预测如下：

（1）48V构型　传动动力节能技术受限，48V系统在五阶段或将逐步变成车型标配。

（2）PHEV构型　受到政策法规导向，PHEV仍将成为自主品牌混动构型的主力，并将持续很长一段时间，考虑成本，续驶里程会减少（或20～30km），依然出现性能两级分化。

（3）HEV构型　考虑到油耗目标和成本控制要求，主流自主车企在布局PHEV同时，会不断推出HEV车型。

（4）EREV构型　纯电动汽车

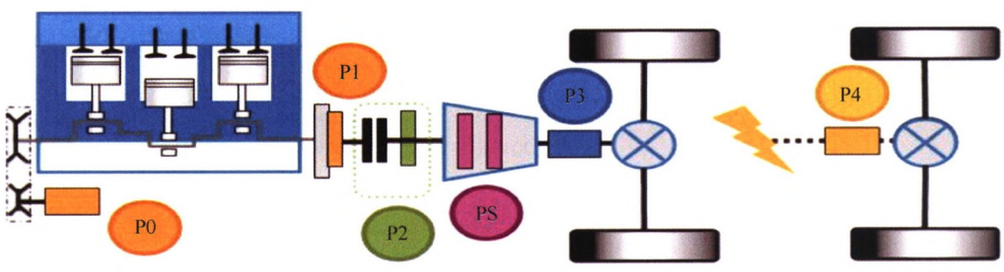

图12　混合动力总成结构

充电桩设施受限，为解决里程焦虑，增程式有市场需求，但发展缓慢，原因受限于小排量两缸发动机技术和成本控制因素。

2.整车平台及动力总成

随着混合动力汽车技术的深度发展，全新整车平台都向着多动力兼容、混合动力专用、高度集成等全方面发展。

（1）整车平台 全新整车平台需综合考虑各种可能动力架构，不断追求更高的热效率以降低对环境的破坏，在动力性与经济环保的二律背反中，创造更高阶的平衡，实现车辆性能、成本的优化，更好地满足客户的需求。国内整车全新的混动平台以吉利CMA、长城Pi4为代表，吉利CMA架构动力层面采用2.0TD、1.5TD、7DCT/7DCT-H、8AT等动力系统，拥有燃油版本、轻混动版本和插电式混合动力版本。长城Pi4平台包括3种不同的内燃发动机、3种不同的变速器、2种不同的动力电池、3种不同功率的电动机和2种结构不同的电动机减速器，在架构上能形成逐年迭代核心技术的关键产品，时刻迎合市场和产品发展调整的架构形态。

（2）混动专用发动机 长安混动专用发动机集成了米勒循环、高压缩比（13:1）、冷却EGR技术、缸盖集成排气歧管、缸内燃油直喷技术GDI、低摩擦技术和热管理技术等，热效率达40%。奇瑞混动专用发动机配置最新的iHEC燃烧系统（高强度滚流进气系统、20MPa高压供油系统、90mJ高能点火系统、第三代智能控制系统以及智能高效清洁燃烧技术）、快速升温的热管理系统、快速响应的增压技术、降摩擦（相对2代降低20%）与轻量化技术（相对1代降低50%）等，热效率达到41%。

（3）混动专用变速器 当前，大多数混合动力总成系统使用基于传统变速器的混动化扩展方案，即用现有变速器并进行调整，让其适用于电动机驱动。但是，随着混合动力总成系统的功能、质量、成本和布置的要求的变化，混动变速器也从扩展式向专用式发展。一般来说，从节油方面讲，混合动力系统变速器的挡位不需要超过6挡，如果配置针对专用混合动力变速器开发的发动机，则挡位数可以减少到3挡左右，在配备的双电动机系统中甚至没有换挡单元。传动比是在某一车速情况下通过转矩平衡控制发动机和电动机的速度，实现电无级变速（eCVT）功能。以广汽GMC、上汽EDU系统和科力远CHS为代表的专用变速器进行了相关研究，未来更多的混动变速器也从扩展式向专用式发展。

3.混动性能提升相关技术

（1）多动力源转矩管理技术 混合动力具有多个架构形式，不同动力系统构型都有控制关键点与难点，比如P2构型和动力分流构型的EV-HEV切换、能量管理、动态转矩分配、制动能量回收，双电动机串/并联构型的能量管理、串/并联判断、制动能量回收以及四驱构型的轴间转矩分配。（M）HEV和PHEV不同构型控制策略通用化率达70%以上，平台化开发可降低开发周期，节约研发资源，提升开发质量，可覆盖HEV、PHEV不同构型诉求。

（2）能量管理及智能控制技术 先进的能量分析和开发平台是开发世界领先的智能能量管理的根本和基础，只有采用合适各自特点的能量管理和智能控制技术，方能达到汽车整车最优设计，提高汽车动力性和经济性，降低排放，国内自主企业长安PHEV应用能量流技术优化整车能耗，能耗降低幅度达11.88%。吉利汽车将高精度导航地图应用于混合动力整车能量管理中，实现城市、高速全工况的最优能耗控制，经过实测，该技术在特定工况下实现至少7%的节油率。

（3）多热源全工况热管理技术 随着混合动力不断挖掘节能空间，在热管理开发方面，不仅仅考虑空调性能、热平衡控制，还要考虑整理多个热源（发动机、变速器、电动机和电池）全工况（高低温、常温、用户和法规）的能耗最低，中汽研在研究能耗管理时，兼顾热管理工况，布置170个传感器采集数据，设计19个运行工况进行分析和优化工况，实现了全气候工况下整车最低能耗。

（4）多模式性能平衡技术 混动技术开发的目的是节能减排，特别是对石化燃料的节约，自主品牌根据技术能力选择不同的性能开发侧重点进行开发，广汽GMC、上汽EDU和科力远CHS双电动机并联追求经济性，而长安CS75 PHEV和比亚迪DM为代表的多电动机混联驱动追求动力性，而驾驶性则是在平衡动力性和经济性后不断提升。

AUTO1950