

混合动力比纯电驱动更受车企青睐

□ 蒂森克虏伯普利斯丹集团/徐鸿鹄

□ 胡静文

“虽然我们取得了很大的进步，但我们的产品对大多数人来说仍然过于昂贵。”——当埃隆·马斯克宣布特斯拉即将裁员时，也给出了明确的原因。

电动车补贴让穷人反哺富人，电动车越做越高端

电动汽车成本最高的组件——电池的价格一直在下降，但更便宜的电池只是让汽车制造商们在汽车里堆积更多的电池，以此来解决更棘手的续航里程痛点，而电动汽车的价格却一点都没有松动。

补贴退坡以后，电动车的预期价格将会不降反升，倒逼用户“用

脚投票”。这也是大众集团CEO赫伯特·迪斯提出的观点：“小型入门电动车很难做出好的业务。”

过度追求续航里程和能量密度的补贴方式，是在不断助力推行高端纯电动车。补贴退坡将会加速淘汰廉价电动车，这个策略将会让电动车的普及之路越来越遥远（见图1）。

世界最大电动车驾驶员研究小

组Pluginsights的一项针对22 000台电动汽车销售的研究报告，就显示了两级分化的趋势：富有的人群消费更多的电动车，穷人则消费更多的燃油车。美国能源报告也发现，1/3的高收入人群购买了2/3的电动汽车。

特斯拉、奥迪、宝马和保时捷等豪华品牌凭借高端电动车可以活得风生水起，它们的产品和品牌效



图 1

应还有一定的号召力，成长和销量都是可以预期的。它们的产品将会成为富人们的玩具，而低收入人群将只能在二手市场里耐心等待这些“奢侈品”被淘汰。

当然，做高端也并非一本万利，就连特斯拉主打的高端市场，利润也在逐步下跌。不光是竞争，人们对花里胡哨的科技的热情也在衰减。

消费者们也在不断地学习：就像购买便宜的燃油车那样，知道什么是好车，什么是不好的车。电动车好坏也将通过市场和时间的力量被消费者重新定义。

《底特律新闻》曾经采访过丰田北美总裁吉姆·兰茨，他认为人们很可能在过度夸大电动汽车的影响力：“所谓电动汽车革命并没有真正来临。”

在中国，在补贴仍旧眷顾低端纯电汽车的那些年里，即便面对重复投资和产能过剩，廉价电动车也没有凭借自身的经济性赢过同级别燃油车。

汽车巨头放缓纯电动车型开发，重金投入PHEV战场

福特CEO 吉姆·哈克特说：“过去，低油价让美国的消费者们更偏好大型车。可汽车制造商们一直担心油价会不断上涨，因此没有完全停售小型车。如今我们有了新的驱动模式——混合动力。这回汽车制造商就不必担心了，他们可以生产具有更大的轮廓，同时不会牺牲燃油效率的汽车。”

那么，混合动力能给我们带来新的惊喜么？双能源混合动力的技

术本质是什么？

如果抛开具体的技术细节，做一个高度的数学抽象，可以绘制出下面这张图（见图2）：混合动力系统可以看作是两类能量流流动的动力系统。一种能量是单向流动的，负责支持系统的稳态运行，提供平均功率（如：内燃机或燃料电池）；另一种能量则是双向流动的，负责提供动态的功率，可以被看作是功率的调节器。在驾驶循环中，一边做功一边回收能量，总的能量输出趋近于0（如：电动机/发电机，超级电容或飞轮）。

显而易见，这是一种控制策略和产品结构都很复杂的技术，只有深刻理解才能做出好的产品。极致的复杂性，使得只有少数汽车公司真正掌握了它的核心技术。丰田便

是其中的佼佼者。

混合动力汽车驱动系内部的两类能量流，可以通过串联、并联和混联三种方式来实现融合（见图3）。

1. 串联式混动——双电动机非直联的电耦合（内燃机发电+电池给电）

由于发动机与车轮之间没有机械连接，驱动车辆完全取决于电动机的特性。车速与发动机转速之间没有比例关系，因此内燃机选型时转速范围更加自由（比如高转速发动机）。由于结构简单，控制策略也不复杂，但却不能涵盖丰富的现实驾车场景。

值得一提的是，燃料电池路线也可以被看作是串联式混合动力的

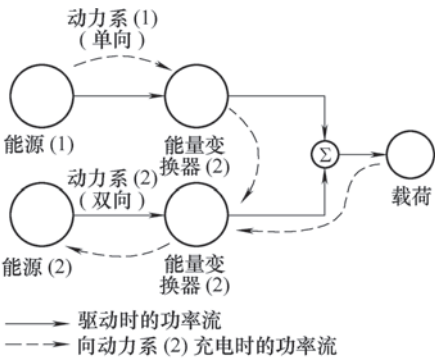


图2 混合动力系统

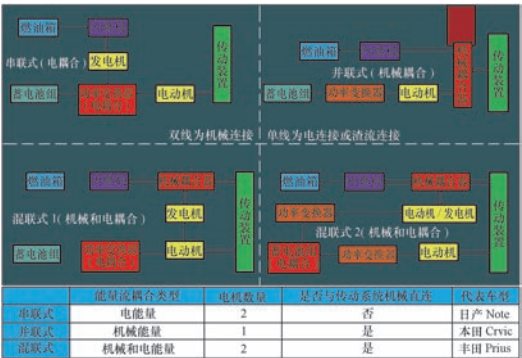


图3 混合动力两类能量流的融合方式

终极形态。

2. 并联式混动——单电动机直连的机械耦合（发动机轴+电机轴）

这种耦合有三种形式：

（1）转矩耦合。发动机和电动机的转矩可以相加输送给车轮，但转速无法相加。耦合的媒介可以是齿轮组、带轮和链轮。当然，最紧凑的设计是直接串联电机的转子，实现单轴并联混动。

（2）转速耦合。发动机和电动机的转速可以相加输出给车轮，但转矩无法相加。耦合的媒介可以是行星轮或双转子电动机。

（3）牵引力耦合。发动机和电动机分别工作在不同的车轴上。

单电动机并联转矩耦合构型是一个大家族，按照电动机在动力系统里的布置方式，可以分为P0、P1、P2、P2.5、P3和P4，它们都可以算是转矩耦合（P4是牵引力耦合，可以看作是广义的转矩耦合，见图4）。

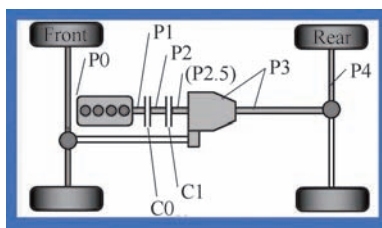


图 4

转速耦合最大的优点在于，两个动力装置的转速从车速上是可以解耦的，于是动力源的转速均能自由的选择，这带来了更高的设计自由度。比如有些发动机的最佳效率与转速是关联的（比如斯特林发动机和燃气轮机），而不是转矩（比如汽油发动机）。

很明显，串联混动以及并联混动里的转矩和转速耦合各自特点鲜明，我们是否能够融合它们的所有优点呢？

答案是肯定的。这就是：双电动机直联机械耦合+电耦合的混联式混动。

3. 双电动机直联机械耦合+电耦合的混联式混动

混联技术的集大成者，非丰田Prius莫属（见图5）。

红色的行星齿轮动力分配机构用作转速耦合，蓝色的固定轴齿轮组用作转矩耦合。

（1）低车速时是转矩耦合，具有并联高效率的优点，实现高加速性能和强大的爬坡能力。

（2）高车速时是转速耦合，跟串联式一样保持发动机运行在最佳效率区间。

（3）发动机和电动机的转速都可以分别解耦，瞬时的发动机转矩和转速完全不受负载的转矩和车速的限制。

丰田技术最大的妙处，是可以在任意工况下，都有最经济的工作方式与其对应。值得注意的是，丰田、福特（丰田授权）和通用（钻丰田专利的空子）几乎将所有基于行星齿轮组的混动结构都注册了专

利，强化了技术壁垒。

丰田的混动变速机构摒弃了传统内燃机平台的传动设计——传统汽车变速器的复杂性是内燃机动力特点带来的恶果，重新设计混动汽车的变速机构（DHT）取得高效率，与电动化的趋势不谋而合。

针对混动汽车全新设计简化的变速机构（DHT），在经济性上更容易成功，赢得客户的青睐。

给其他厂家留下来的只有两条路：一是做减法，跟丰田一样，取消传统变速器，并避开丰田的专利壁垒。转而开发大功率电机的双电机混动布局；二是做加法，发展基于P2和P2.5的混动构型，将单电动机、双电动机甚至三电动机强行并联塞进现有动力架构，继续为燃油车续命。

针对做减法，日系厂商在这一路线上凭借出色的成本优势已经初步获得了市场的认同。日产通过激进的平台化策略整合了旗下几乎所有的电动化汽车，并与燃油平台零件高度共享，将电耦合的串联混动构型（比如日产Note e-power）的经济性推向了巅峰；本田也取消了传统变速器，通过“丧心病狂”式的轻量化以及结构改进，以细节弥补了架构的差距，将i-MMD这种机械+电耦合的分时串并联构型的潜

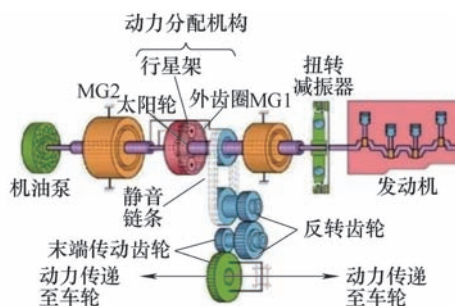


图5 丰田Prius混合动力

力推向了极致（见图6）。

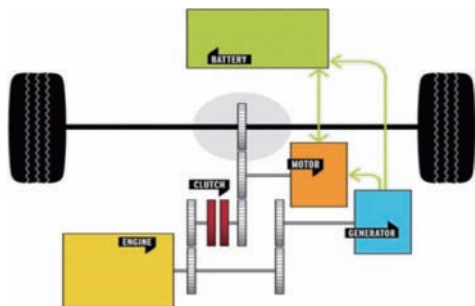


图6 本田i-MMD

而做加法，由于欧洲被涡轮增压拖累太久，所示从传统的驱动系统向全混合动力系统HEV发展并不现实，这需要投入大量的时间和资金，弄不好还会丢掉既有市场。保留原有发动机、变速器和制动装置的设计不变，优先发展48V混动，并逐步将燃油车转变为PHEV混动车。

保时捷从2018年2月开始，完全放弃了被宠爱有加的柴油机，试图用Cayenne和Panamera插电混动版本来弥补缺憾。

一加一减，时局已经从过去丰田的一家独大变为二元格局。混动产品不管如何进化，产品力最核心的问题之一，是如何最优地设计集成在传动系统里的电动机来实现正常驾驶功能的变速器。这将成为决定产品成败的关键性因素。

混合动力汽车丰富的品种和运行模式带来了优于单动力车辆更多的灵活性。它能够兼顾成本、能效、排放和性能多个指标，找到最均衡的那个优化结果。为进一步降低油耗，插电混动汽车PHEV也适时诞生。

虽然丰田HEV产品线从小型车Yaris到大型越野车都有布局，但最终也经不住PHEV技术的诱惑，

早早就推出了旗下最畅销混动汽车Prius的PHEV版本。

PHEV汽车最常见的控制策略有两种：聚焦于纯电行驶的控制策略（图7上）和混合控制策略（图7下）在电量维持阶段CS，PHEV系统的功率设计原则几乎完全借鉴了HEV的设计和控制技术。

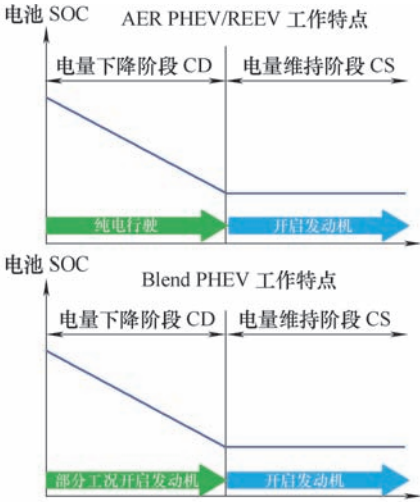


图7 PHEV两种控制策略

Blend PHEV和AER PHEV分别对应两种不同的PHEV策略。AER PHEV更加接近纯电动——这正是从串联式HEV发展而来的增程式电动车REEV，它是最接近纯电动车的混动车型（见附表）。

混合动力的战场从HEV走向PHEV

PHEV最吸引人的一点，在于如果行驶里程不高且能连续充电，理论上PHEV是可以达到完全零油耗的状况。省油的同时，一项独立研究指出，插电混动汽车在排放上也比纯电动汽车更具优势，这显然与传统观点相悖。

的确，纯电动汽车有零排放的优势，但不能忽视电池制造过程中所产生的排放。PHEV胜出的原

因，在于它凭借小得多的电池和更高的单位电池纯电行驶利用率，轻松地在整车生命周期排放的比拼中占据了上风。

PHEV同时也可以成为极致动力的代名词。异军突起的比亚迪唐PHEV，最大输出600马力（1马力0.735kW），系统综合最大扭矩更是达到了950N·m。这是什么概念？燃油车里宝马M的最大马力也不过如此。至于扭矩，可以跟奥迪Q7和奔驰S65一决高下了。在电动车阵营里，只有特斯拉Model S/X才可以与之媲美。

PHEV显示出了强大的竞争力和适应性。与此同时，内燃机和燃料电池技术的持续进步也将在未来的几十年里为PHEV保驾护航。

日本内阁府主导的一项“革新性燃烧技术”战略项目提出了一个雄心勃勃的计划：5年内将汽车企业过去用40年时间才提高10%左右的热效率进一步提高10%，达到50%。马自达则独辟蹊径，融合汽油机和柴油机技术，在2020年即能提前实现50%的热效率目标。奔驰的GLC F-Cell燃料电池+插电混动构型，更是独树一帜。

PHEV大有愈演愈烈的趋势：宝马3系、5系、7系、X1、X3及X5等主力车型都将推出PHEV；奔驰也扩充了C和E系列的PHEV产品线；通用继续推广Volt PHEV上的DHT混联构型；福特也开始研发双电机PHEV；还有全球最畅销车丰田卡罗拉的PHEV；日产依托三菱PHEV技术已经开始蓄力……

商用车领域，在刚刚结束的全球最大商用车展IAA上，VW旗下的Scania和Paccar旗下的DAF都展

	微混Micro	轻混/中混 Mild/Moderate	强混Full	混合插电 Blend PHEV	纯电插电AER PHEV 增程混动REEV	纯电动EV
纯电行驶	无	可能有	有	有	有	有
高速纯电行驶	无	无	可能有	有	有	有
全工况纯电行驶	无	无	无	无	有	有
电动机功率/kW	2~8	10~20	25~55	55~100	55~180	~350
电池电压/V	12~48	48~160	200~280	200~420	200~450	>200
电池容量/kWh	0.2~0.5	0.5~1	1~5	5~10	>8	>40
电池类型	铅酸/超级电容	镍氢	镍氢/锂离子	锂离子		
功率半导体	MOSFET		IGBT/SiC			
混动占比率	<5%（48V<10%）	5%~10%	10%~50%	30%~60%	50%~80%	100%
节油率 （参考WLTP）	4%~12%	15%~20%	25%~35%	<50%	<50%	100%
过渡构型 （有传统变速器）	P0（BSG）/ P1（CSG）	P0/P1/P2/ P2.5/P3/P4	P2/P2.5/P3 P2/P4	P2/P2.5 P0P4/P2P4	P.5/P4 P1P4/P2.5P4	减速器
专用混动变速器 （DHT）	N/a	N/a	电耦合串联 机械耦合并联 机械+电混联	机械耦合并联 机械+电混联	电耦合串联	

示了各自下一代的PHEV重型载货样车。它们城区靠纯电驱动，高速则变身柴油驱动。美国柴油机巨头康明斯也开启了电动化之路，向PHEV领域进军。

最终，既有西方的燃油车的改良PHEV路线，也有东方从强混HEV发展而来的PHEV路线（含燃料电池），加上中国国家战略力推的BEV纯电动，多股势力齐头并进，技术多样化将成为时代印记。

但是，在电池技术没有突破性的进步之前，纯电动车就永远存在短板。电动车一味地压缩成本全部用来填补产品力的硬伤，短期还可以维持，如果长期下去却没有根本性的转变，那些成本还会回来。

技术发展没有捷径

人们往往倾向于高估一项新技术的短期影响，并低估其长期影

响。这种倾向会让我们更加热衷于寻求捷径，而忽视了长久的投入和坚持。

在现实里，技术发展没有捷径可言。汽车行业的研发期很长，企业必须长期坚持一个路线才能看到远方的曙光。丰田在HEV的道路上坚持了20年，而在燃料电池和固态锂电池的开发上，丰田也同样执着。

2017年，奔驰在利润业绩最好的时候，主动缩减开支40亿，以应对电动化后企业利润下滑的挑战，而这一举措的正面效果，要在2025年才能显现。

第一个生产现代电动汽车并卖出了1200万辆的，是丰田普锐斯。但在21世纪，丰田却没有成为纯电动汽车的领军者。这很奇怪，要知道，当年的普锐斯只是丰田研发纯电动车的一个副产品。

丰田为何不看好纯电动汽车呢？2018年，丰田电动技术专家久保馨是这样回答的：“2015年的时候我们确实没有计划全面推广纯电动车，当初最重要的考虑是纯电动车能不能被用户真正喜爱和接受，所以为了尽快普及节能环保产品，我们计划首先推广混合动力，未来终极目标是燃料电池。不过这两年我们考虑到包括中国消费者在内大批消费者有实际的纯电动车需求，很多用途下纯电动车也更合适，尽管还会面临很多问题，但我们依旧把纯电动车加入到未来的新能源战略当中。”

近期旧金山召开的经销商大会上，丰田北美副总裁Jack Hollis对外宣布：“我们将继续生产新的混动车型，未来三年只推出20款新车，但在电池驱动类型的汽车上将减速。” **AUTO1950**