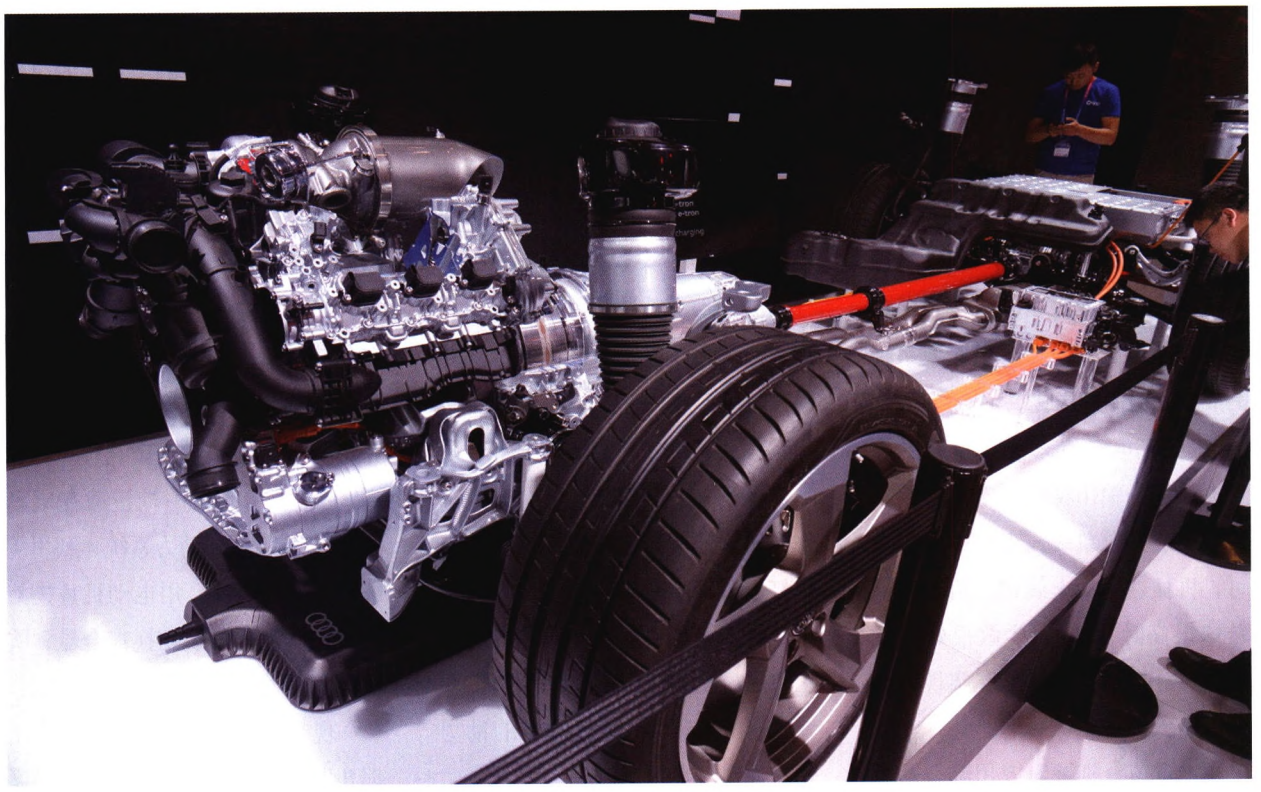


汽车专用混合动力变速器和电驱动系统及其变速器发展状况（上）

□ 德国博世公司 / 罗本进
□ 北京工业大学 / 石照耀

随着环保压力继续增加，发展混合动力系统以及纯电动汽车的需求越来越大；特别是我国政府对新能源汽车的支持力度加速了新能源汽车技术开发的速度。

目前汽车行业的一个重大趋势是汽车电气化的快速发展以及电动车的市场份额逐步提高。这种趋势对自动变速器行业的影响也越来越大。

动力总成的电气化产品表现为如下两个方面：

一方面是基于现有传统发动机动力总成，把电动机安装到动力传输线路的合适位置，构成混合动力实现动力总成的总体效率提高以及排放的减少。这种结构要尽量减少对原动力总成的改变，利用现有的批量变速器产品，从而降低开发新产品费用。这种混合动力从自动变速器角度称之为附加式（Add-On）混合动力系统，其结构比较复杂，适合小批量混合动力或者高端汽车应用。由于自动变速器变化较少，这类变速器产品可以归纳在传统自动变速器分析里。

另外一方面，随着混合动力及电动汽车的规模加大，开发全新的专用混合动力变速器（DHT-

Dedicated Hybrid Transmission）以及纯电驱动系统成为趋势，这主要表现为两个方向：

（1）电动机与自动变速器集成为一个统一功能系统，与发动机结合形成混合动力系统。在产量规模达到一定程度时，减少变速器挡数，在节油的同时，可以实现系统的成本及空间的优化。

（2）电动汽车的变速器，由于电动机的输出特性，电动车驱动系统一般只要单级或者双级变速即可，机械结构大大简化，但当单机转速很高时，NVH要做很好的优化；另外要提高集成度，实现模块化产品。

本章节分别针对专用混合动力变速器（DHT）和电驱动系统做相应分析。

混合动力系统综述

混合动力系统是指在传统发动机动力总成中以电力驱动的电动机作为补充。 目前根据电动机的位置，混合动力系统相应分为P1、P2、P3、P4混合动力拓扑结构（配置），图1显示了各种混合动力拓扑结构。其中如果发动机动力和电动机动力可以同时驱动车轮，也称之为并联混合动力系统；如果汽车只是由电动机驱动，发动机主要是给电池充电，则称之为串联混合动力系统；混合动力系统根据其电动机提供动力的特性以及电池获得能量方式及大小还分为弱混合动力、强混合动力和插电混合动力。

混合动力系统的电动机动力以不同形式参与到动力总成输出之中，形成混合动力的各种新型动力组合及功能，一般称为混合动力的运行模式或特性，如：启停模式、启停滑行模式、能量回收模式、转矩增强模式（助力）、混合动力驱动模式、纯电驱动模式等。图2列举了不同电气化程度的混合动力总成可能的运行模式（特性）。

混合动力系统可以通过以下措施，改善传统发动机汽车的油耗并提高驾驶性能：

（1）回收汽车制动的能量。

（2）避免或者减少发动机工作在不利的运行模式，如怠速、交通灯停车、低速爬行等。

（3）利用电动机调整发动机工作点。

（4）电动机峰值功率的助力作用提高汽车加速性能。

（5）改善自动变速器换挡性能。

（6）拥堵时电驱动爬行。

（7）短途纯电驱动。

鉴于开发全新的混合动力系统成本高昂，在混合动力市场有限的情况下，汽车厂以及变速器公司选择在已有的自动变速器批量产品上做尽量少的改动，加入电动机实现附加式混合动力系统。

目前比较多的是将电动机加装在变速器输入轴上，电动机与发动机之间加入一个切换离合器，实现并联混合动力系统（P2）。

图3显示的是一款搭载在宝马X5上的并联混合动力系统。利用传统采埃孚的8AT，用电动机替换液力变扭器，并加装切换离合器，实现混合电力驱动。

现在国外主要汽车厂家基本上都开发了这种附加式的混合动力系统，尽管利用了现有的量产自动变速器作为基础，但由于加了一整套电驱动系统，动力总成比较复杂且整车的价格还是提高很多，普及率

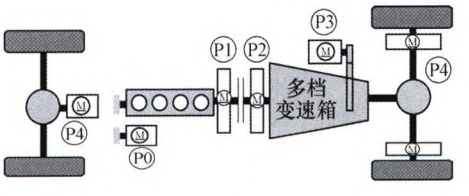


图1 各种混合动力拓扑结构

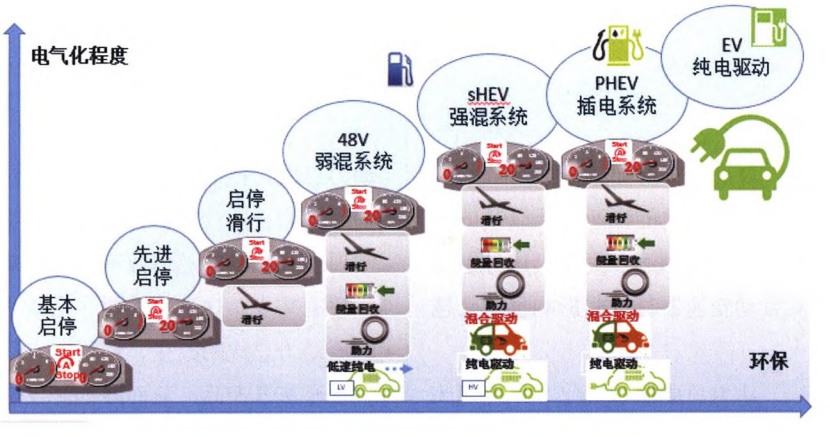


图2 动力总成电气化可能的运行模式（特性）

还有限。

专用混合动力变速器

1. 专用混合动力变速器定义和特点

混合动力系统的市场继续扩大，发展趋势是纯粹燃油发动机汽车将逐步全部混合动力化，目前开发新型专用混合动力变速器从性价比角度考虑就是一个好的途径，目前众多主流汽车企业大力开发多种专用混合动力变速器也证明了这种趋势。

实际上丰田公司从1997年就开发了应用在普锐斯汽车上的专用混合动力变速器，随着混合动力的需求提高，普锐斯混合动力目前获得成功。

专用混合动力变速器的定义是：通过集成一个或多个电动机到变速器中形成带电动机的自动变速器系统，加上发动机输入后即可实现混合动力驱动的功能。一般形成的混合动力系统为了实现全部功能不可缺少电动机，即去掉电动机后变速器本身将不能正常工作。

与此形成对比的是在现有的自动变速器上附加电动机形成的附加式混合动力系统。

关于专用混合动力变速器，有以下两点说明：

一是专用混合动力变速器的挡位数和空间。

传统自动变速器为了获得更好的油耗特性，必须充分利用发动机的最佳工作点，变速器挡位越多，发动机工作效率高的区域可以更多的利用；目前先进自动变速器已经达到8挡甚至10挡，这使得自动变速器变得非常复杂，技术门槛高，开发费用高昂，并且只有达到一定的产量才有好的经济效益。

在混合动力系统中由于电动机驱动可以帮助发动机工作在比较好的区域，导致混合动力系统的挡位数可以适当减少，对整车的油耗影响很小。一般来说混合动力系统从节油方面讲，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，则挡位数量可以进一步减少到3挡左右；在配备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，实现所谓的电无级变速（eCVT）功能。

专用混合动力变速器挡位数比附加式混合动力挡位数少，其结构也就相对简单，需要空间也比较少。图4比较了一个传统8速AT的空间和一个5速AT专用混合动力变速器所需空间。空间和质量的优势也给专用混合动力变速器的应用提供了好的前提。

二是专用混合动力变速器的成本分析。

新开发一个新系统费用高昂，虽然专用混合动力变速器相对可以简单，但是如果产量不能达到一定水平时，一次性投入的研发成本导致最终成本比利用现有的自动变速器实现附加式混合动力系统成本更高。只有达到一定量产时，一次性开发费用分摊到单件产品的比例才会低，开发专用混合动力变速器才有经济性。图5比较了传统8速自动变速器的成本与用于专用混合动力的5AT-DHT成本比较。以8AT年产20万台为100%基准，只有当5AT-DHT产量超过8.1万台时，其价格才能开始到达8AT大批量的成本的临界点，也就是说，5AT-DHT混合动力变速器销量超过8.1万台时，其额外的开发成本计入5AT-DHT后每台成本将开始低于8AT大批量的每台成本，表明可以考虑重新开发5AT-DHT用于专用混合动力汽车。

今后市场对混合动力需求提高，占有率达到一定的水平时，从

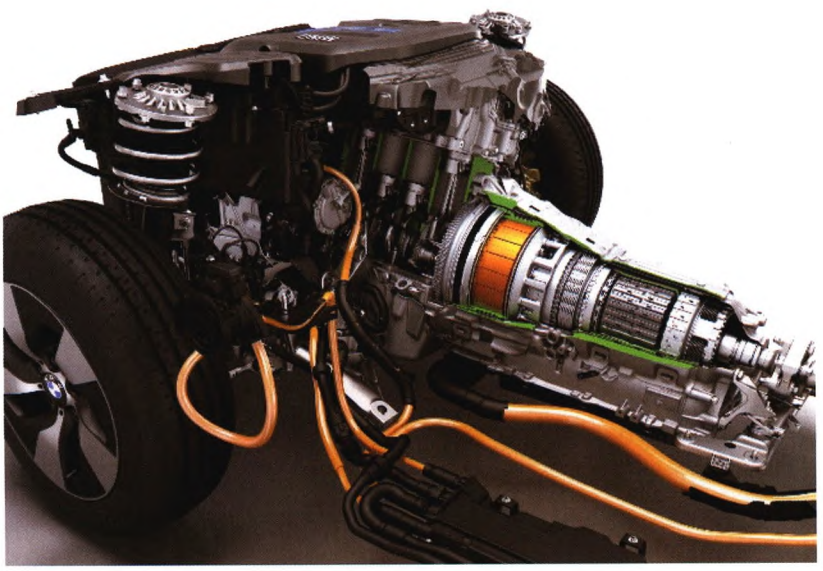


图3 基于采埃孚8AT形成并联混合动力系统（来源：BMW）

成本角度就可以考虑开发专用混合动力变速器了。

2. 目前一些专用混合动力变速器介绍

专用混合动力变速器也可以在电控机器自动变速器AMT、双离合器变速器DCT、传统液力自动变速器AT和无级变速器上集成单电动机构成。下面介绍其中一些典型例子，目前这方面的DHT还没有形成量产规模，主要大公司还在方案评估以及产品开发阶段，估计逐步会有多种型号产品进入市场。

（1）丰田普锐斯专用混合动力变速器。

最有名的专用混合动力变速器是丰田从1997年推出的普锐斯车上所用的混合动力系统THS（Toyota Hybrid System），图6是2009年推出的第三代THS系统。其中的（PSD Power Split Device）为一个行星齿轮组，实现功率、转矩和转速的分配。根据驾驶工况的不同可以实现纯电驱动和混合驱动等模式。电动机M2纯电行驶时，发动机通过电动机MG1给电池充电，实现串联混合动力模式；发动机也可以与电动机MG2（或者MG1）同时驱动汽车，形成并联混合动力驱动模式，所以普锐斯THS可以称为串并联混合动力系统或者功率分流混合动力。由于行星齿轮副的双速度控制特点，不同于一般行星齿轮副锁止某个零件（静止或固定速度）获得特定传动比，普锐斯混合动力当然可以不锁止零件，而是通过电动机或发动机控制其转矩比例，从而无级调节传动比，所以也通常被称为eCVT（电动无级变速器）。

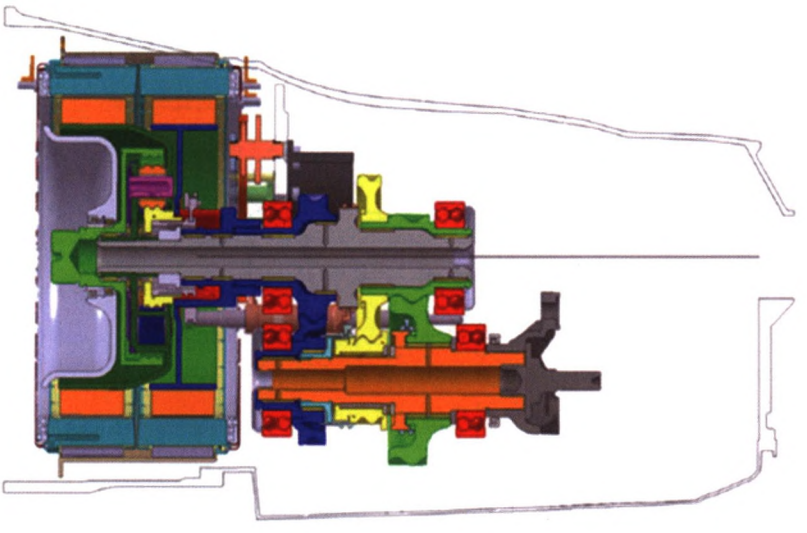


图4 传统8AT和一个专用混合动力变速器所需空间的比较

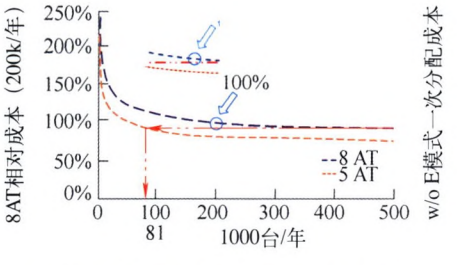


图5 8AT和专用混合动力的5AT-DHT成本比较

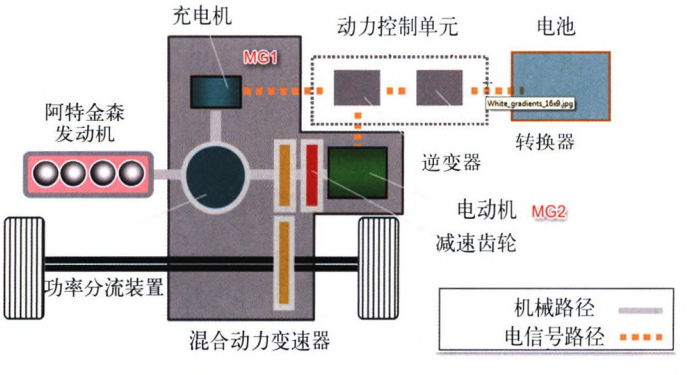


图6 2009年推出的第三代THS系统

可以看出，THS的变速器机构相当简单，但是通过与电动机的集成可形成很好的混合动力系统。NEDC工况下油耗可以降到百公里3.4L以下，虽然其控制系统比较复杂，但随着电子控制系统的发展，整车可以在保证油耗性下也能实现很好的驾驶性能。随着排放的高要求，混合动力也越来越普及。图7显示了丰田混合动力的销售情况，可以看到，每年销售已经超过百万辆的规模。

以丰田普锐斯THS双电动机专用混合动力变速器为基础，通过一些变化丰田也为高端品牌Lexus（雷克萨斯）配置了的混合动力系

统，图8显示通过增加一套行星齿轮副构成雷克萨斯汽车的混合动力总成，可以采用功率更大的驱动电动机等，行星齿轮副可以更有效地分配转矩到车轮上。

随着各国对环境保护及能源利用的重视，很多国家已经开始表达意向甚至给出时间表禁止纯燃油汽车的销售。电动汽车由于电池的瓶颈，普及和盈利还需要很大突破，混合动力系统会在未来的汽车销售中占据很大的比例，混合动力技术必将会得到极大的发展。结合专用混合动力变速器的上述特点和丰田普锐斯成功先例，很多公司也开始开发自己的专用混合动力变速器。

（2）本田iMMD智能多模式混合动力系统。

图9显示了其构成形式和工作模式：本田iMMD（Intelligent Multi-Mode Drive）的变速器部分也非常简单，只是通过几副减速齿轮和一个锁止离合器实现电动机驱动和发动机的动力输出控制，如纯电驱动、混合动力、发动机驱动、驻车充电。

（3）大众TwinDrive。

大众正在开发的专用混合动力变速器TwinDrive采用与本田iMMD近似的结构。其结构和工作模式如图10所示。

（4）上汽荣威电驱动变速器EDU。

双电动机结构的专用混合动力变速器（DHT）国内代表产品是上汽搭载在插电强混的量产车型荣威e550和e950的电驱变速器EDU（Electric Drive Unit），如图11所示，上汽电驱动变速器NEDC综合能耗据资料可以控制在到百公里1.7L，纯电行驶60km。

（5）上汽精进电动公司的双电动机EDU。

上海精进电动公司提出其DHT方案，利用双电动机实现串并联混合驱动，如图12所示。

除上面介绍的双电动机结构的专用混合动力变速器（DHT）之外，采用双电动机DHT的产品还有通用Voltec，爱信2-Motor Hybrid，吉凯恩（GKN）的Multimode eTransmission等。

配双电动机的专用混合动力变速器的特点是机械结构相对简单，一般不需要换挡单元，要求发动机在特点的工作区高效工作。

（6）大陆公司成本优化DHT。

大陆公司做了一个简单专用混合动力变速器的结构、功能和成本分析，给定发动机和电动机不同的挡位数，对比功能和成本，选出大陆公司的优先方案。图13是相应的结构，前面数字表示发动机（ICE）和电动机（ED）的挡位数，电动机数字0表示电动机与汽

图7 丰田混合动力的销售情况

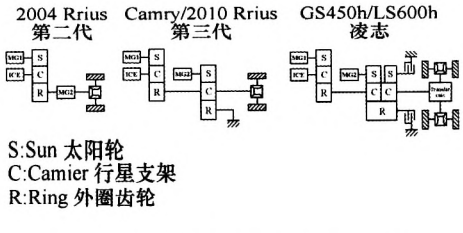
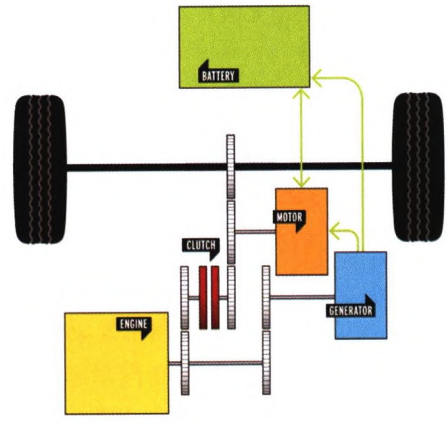


图8 丰田THS专用混合动力变速器（DHT）



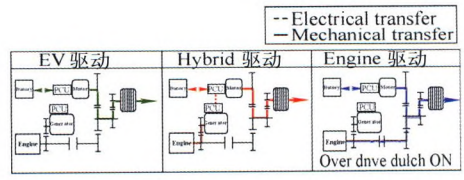


图9 本田iMMD智能多模式混合动力系统构成和工作模式

车驱动轴以一个传动比固定相连，1表示电动机有一个传动比，但可以挂空挡。

大陆最后选出自己的优化方案是发动机4挡，电动机固定挡（4(ICE)+0(ED)），另外要配置一个高压的启动发电动机（HV-SG）。

（7）AVL公司八模式混合动力系统8mode-DHT。

另外一个单电动机专用混合动力变速器比较有代表性的是AVL的第二代DHT，即Future Hybrid 8-Mode 未来八模式混合动力系统。图14显示其原理结构特点。

AVL的八模式混合动力DHT基于传统自动变速器AT集成电动机而成，它采用了两个离合器和两个制动器、一个Ravigneaux（拉威挪式）行星齿轮结构。

其可以有八种运行模式（见表1和图15），即5挡混合电力驱动模式，两挡纯电驱动模式，以及eCVT（电动无级传动）模式，驻车充电模式。

混合动力以及纯电驱动模式可以很好地利用发动机和电动机的动力源，根据不同的汽车工况优化其工作点，实现油耗和驾驶性能的改善。

eCVT模式可以利用发动机和电动机转矩控制提高汽车起步（launch）和爬行（creep）性能。驻车充电可以很好的利用发动机在驻车时给电池充电，为汽车行驶时混合动力功能的利用和优化提供条件。

（8）雷诺日产EOLAB ZE-Hybrid。

为实现百公里2L油耗目标，雷诺日产在2014巴黎汽车展上展示了

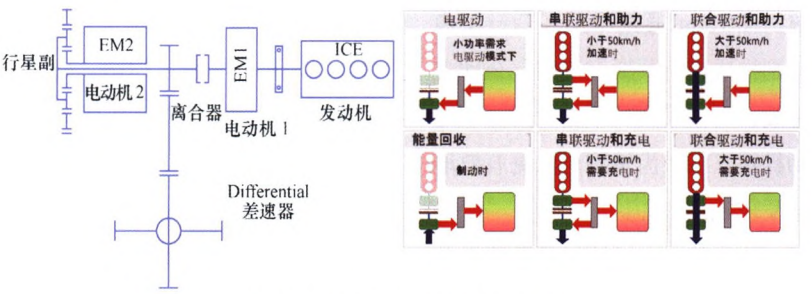
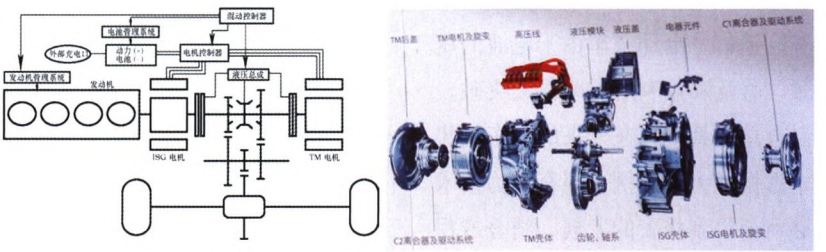


图10 大众TwinDrive结构和工作模式



(a) (b)

图11 上汽电驱动变速器原理和实物图

图12 精进公司DHT方案

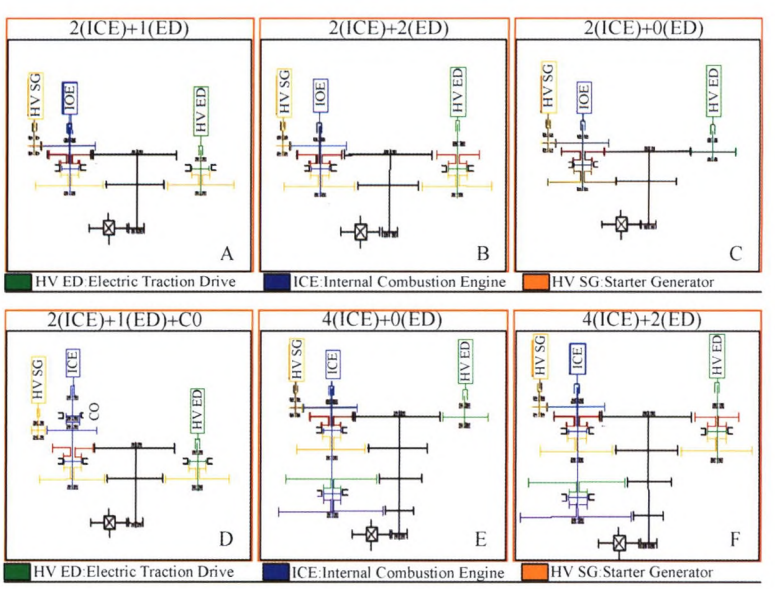


图13 大陆公司DHT几种结构分析（来源 CTI2017 Conti）

在Eolab汽车项目上最新开发的专用混合动力变速器DHT项目即ZE-Hybrid 动力总成项目，在保证油耗目标的前提下，还要求有好的驾驶性能和低的成本。

ZE-Hybrid在第一代EOLAB1是基于自动化手动变速器AMT集成电动机构成，有3个挡位，同步器靠电动实现，原理结构和驱动模式如图16所示，可以实现纯电、混合以及纯发动机驱动，同时也可以驻车充电。雷诺在第二代EOLAB2汽车上也开始研发基于AMT的双电动机DHT（见图17）。

（9）IAV混合动力变速器。

IAV基于AMT设计了一个相对简单低成本的基于AMT的模块化结构，即可成为纯电动也可以实现专用混合动力变速器DHT，提供3挡的纯电动或者混合动力驱动。变速器部分也可以直接用于电动车上。基于CVT的专用混合动力变速器也在研发中。

（10）舍弗勒P2-DHCVT。

专用混合动力无级变速器舍弗勒的P2-PHEV-DHCVT，可以实现纯电、P2混合动力及纯发动机驱动，后退挡靠电动机实现，在无级变速单元（Variator）之后有个犬齿式离合器实现驻车充电功能。图19显示了舍弗勒的P2-PHEV-DHCVT的原理和设计。

通过变速器一些设计变化，增加一套双离合器，可以进一步实现P2/P3的混合电力驱动，以提高电驱动里程和混合动力驾驶性能。图20显示了舍弗勒的P2/3-PHEV-DHCVT的原理和设计。

（11）万里扬混合动力无级变速器C38 P2P3（见图21）。

国内汽车变速器公司万里扬也在开发基于传统无级变速器CVT38的混合动力无级变速器CVT38 P2/P3；相对于CVT38，CVT38 P2/P3在NEDC工况下可节油22%。（未完待续）

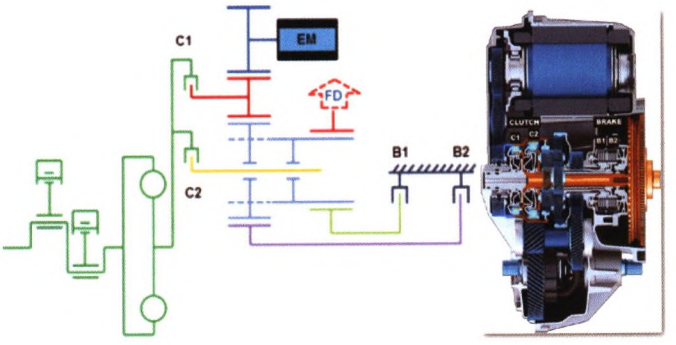


图14 AVL的八模式混合动力DHT（来源：AVL）

表1 AVL的八种模式

模式		C1	C2	B1	B2	ICE比例	EM比例
混合1挡	Gear ICE/EM	×			×	8.804	12.005
混合2挡	Gear ICE/EM		×		×	6.118	12.005
混合3挡	Gear ICE/EM	×	×			3.920	5.346
混合4挡	Gear ICE/EM		×	×		3.025	2.632
混合5挡	Gear ICE/EM	×		×		0.000	12.000
电动1挡	Gear EM				×	0.000	2.632
电动2挡	Gear EM			×			
eCVT	E-CVT		×			*n*ICE/*n*EM	
驻车充电	备用充电	×				0.733	

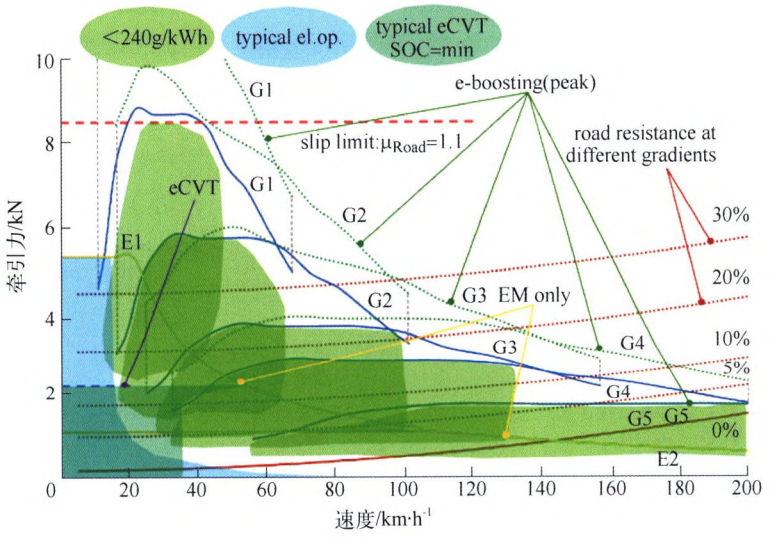
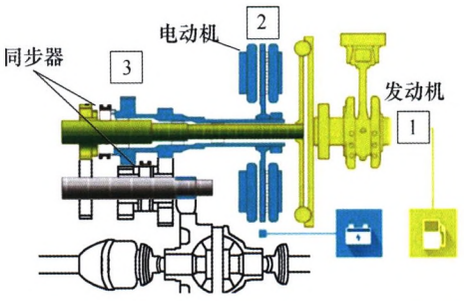


图15 AVL的八模式混合动力DHT的运行模式及牵引力工作区（来源：AVL）



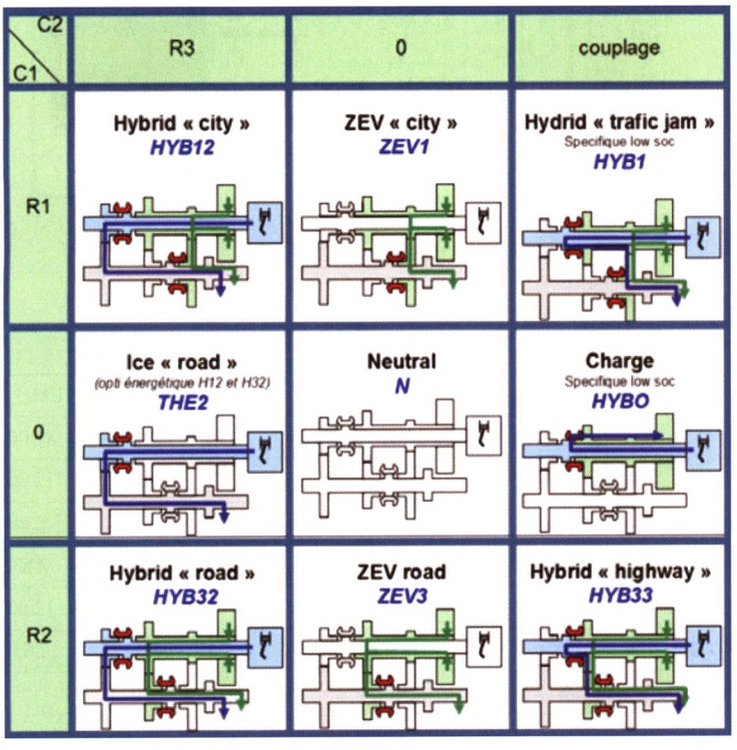
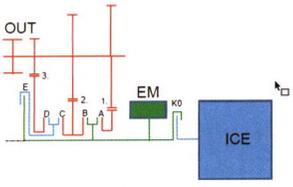


图16 雷诺EOLAB1混合动力原理结构和驱动模式（来源：雷诺 N. Fremau etc.）

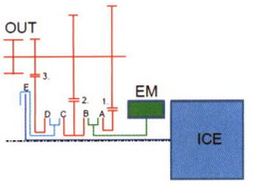
混合动力推导案例

案例3
3挡混合动力
AT-动力总成



- 三挡电动EM和三挡发动机ICE动力传递下可换挡
- 多种操作模式

案例4
3挡混合动力
DHT-动力总成



- 通过去除KO离合器，降低成本
- 合适的混合动力模式（两挡EM，两挡ICE）

图18 IAV混合动力变速器系列（来源：CTI2016 IAV）

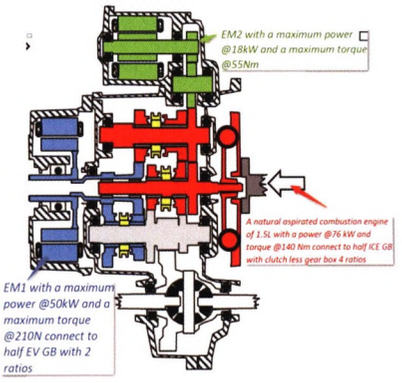


图17 雷诺EOLAB2的双电动机DHT（来源：雷诺 N. Fremau etc.）

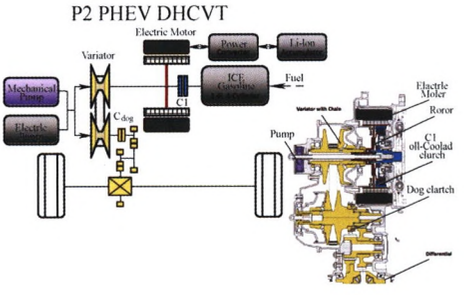


图19 弗勒的P2-PHEV-DHCVT的原理和设计（来源：CTI2016 Luk）

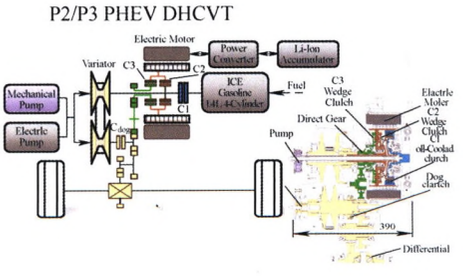


图20 舍弗勒的P2/3-PHEV-DHCVT的原理和设计（来源：CTI2016 Luk）

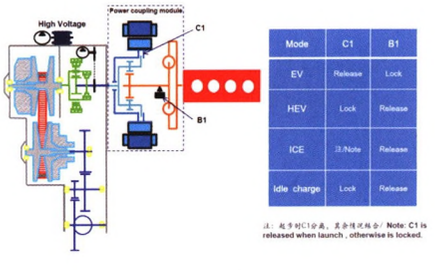


图21 万里扬混合动力无级变速器（来源：TMC2018）