

Contents



第一章 混合动力汽车简介 / 1

- 第一节 混合动力汽车发展历史 / 2
- 第二节 混合动力汽车定义和分类 / 5
- 第三节 两个省油四原则 / 10
- 第四节 油电混动机械特性 / 12
- 第五节 微混型混合动力汽车 / 14
- 第六节 轻混型混合动力汽车 / 15
- 第七节 串联式混合动力结构 / 17
- 第八节 丰田普锐斯混联式混合动力汽车结构 / 19



第二章 混合动力汽车的使用和维护 / 29

- 第一节 混合动力汽车的使用 / 30
- 第二节 维修基本信息查询 / 31
- 第三节 维修注意事项 / 32
- 第四节 高压维修注意事项 / 34
- 第五节 车辆撞击损坏后应采取的措施 / 36
- 第六节 如何移走损坏车辆 / 37
- 第七节 仪表信息 / 38
- 第八节 处理两种蓄电池的馈电 / 39
- 第九节 两种检查模式操作程序 / 40
- 第十节 典型工作任务五例 / 42



第三章 米勒发动机系统 / 51

- 第一节 操作前注意事项 / 52
- 第二节 系统原理图和症状表 / 53
- 第三节 米勒发动机系统诊断与维修 / 61
- 第四节 米勒发动机系统端子测量 / 93
- 第五节 米勒发动机系统示波诊断 / 97
- 第六节 米勒发动机数据分析 / 101



第四章 电池管理系统 / 107

- 第一节 主要零部件位置 / 108
- 第二节 电池管理系统检修 / 112
- 第三节 电池管理系统诊断数据 / 121



第五章 高压配电箱诊断与检修 / 127

- 第一节 高压绝缘检测 / 128
- 第二节 高压继电器触点电路 / 129
- 第三节 高压数据读取 / 132



第六章 电机系统诊断与检修 / 135

- 第一节 丰田普锐斯逆变器描述 / 136
- 第二节 电机传感器诊断与检修 / 139
- 第三节 电机 / 逆变器冷却系统诊断与维修 / 142
- 第四节 变频器数据读取分析 / 143



第七章 混合动力控制系统 / 145

- 第一节 检查的注意事项 / 146
- 第二节 混合动力汽车主要部件 / 148
- 第三节 系统原理图 / 151
- 第四节 丰田普锐斯系统描述 / 156
- 第五节 数据列表分析 / 161



第八章 DC/DC 转换器诊断与检修 / 165

- 第一节 升压 DC/DC 转换器诊断与检修 / 166
- 第二节 降压 DC/DC 转换器诊断与检修 / 167
- 第三节 降压 DC/DC 转换器诊断实训 / 169
- 第四节 DC/DC 转换器数据读取分析 / 170



第九章 线控换挡模块 / 173

- 第一节 选挡和换挡控制 / 174
- 第二节 驻车制动控制 / 177
- 第三节 换挡数据分析 / 178



第十章 奥迪 Q5 混合动力汽车技术应用 / 179

- 第一节 奥迪 Q5 混合动力汽车简介 / 180
- 第二节 奥迪 Q5 混合动力汽车发动机 / 181
- 第三节 奥迪 Q5 混合动力汽车转向和制动系统 / 186
- 第四节 奥迪 Q5 混合动力汽车电气系统 / 188
- 第五节 奥迪 Q5 混合动力汽车电机 / 196
- 第六节 奥迪 Q5 混合动力汽车空调 / 198
- 第七节 奥迪 Q5 混合动力汽车高压系统 / 201
- 第八节 奥迪 Q5 混合动力汽车显示和操纵单元 / 208
- 第九节 售后服务和车间设备 / 213



参考文献 / 217

第一章

混合动力汽车简介

情境引入

20岁的汽车专业学生小林毕业后不想长期从事劳动密集型工作，他认为劳动密集型工人的工作很容易被他人或机械替代，为自己未来的发展打算，他想从事技术密集型工作。他自知技术，特别是现在学的新能源汽车技术是未来一门小则保他谋生，大则让他过上较富足生活的学科，他下定决心，努力学好本学科。

他想，怎么能看出一辆混合动力汽车与另一辆混合动力汽车的区别是什么？各自优点和缺点又是什么呢？

学习目标

- (1) 纯电动汽车和油电混合动力汽车的名字是根据什么工况进行确定的？
- (2) 油电混合动力汽车按串并联分类分为几类，画出每类的构型图。
- (3) 油电混合动力汽车按混合度分为几类，每类的特点是什么？
- (4) 油电混合动力汽车按是否充电分为几类，每类的特点是什么？
- (5) 画出微混型混合动力汽车的构型图。
- (6) 画出轻混并联型混合动力汽车的构型图。
- (7) 画出中混并联型混合动力汽车的构型图。
- (8) 画出重混混联型混合动力汽车的构型图。
- (9) 说出重混混联型丰田普锐斯混合动力汽车的工作过程。

第一节 混合动力汽车发展历史

一、1900年至1920年

今天的混合动力汽车，被视作是由传统内燃机汽车发展到未来纯电动汽车的中间形态，但在汽车发展史上，第一辆混合动力汽车却是出现在纯电动汽车诞生的近20年后。令人惊讶的是，它所采用的工作原理，直到今天仍被用于最新型的混合动力车甚至是概念车上。

混合动力汽车的历史要追溯到1900年，世界第一辆混合动力汽车“罗尼尔—保时捷”在当年诞生。他的设计来自25岁的费迪南德·保时捷，这个年轻人后来作为第一代大众甲壳虫的设计师、保时捷品

牌的开创者而扬名天下，但1900年时，他只是位于维也纳的雅各布·罗尼尔公司的一位重要雇员，这是他的第一份工作。这家公司原本是一家豪华马车制造商，从19世纪末开始生产电动汽车。

在“罗尼尔—保时捷”上，费迪南德采用了串联式混合动力，由汽油内燃机为发电机提供能量，安装在前轮内的两个轮毂电动机提供驱动力（见图1-1），最大功率约10~14马力。今天的雪佛兰Volt就采用了这种汽油机驱动发电机的形式，而轮毂式电机驱动则被近年来很多纯电动概念车所使用。“罗尼尔—保时捷”有双座和四座两种车身形式，也有以蓄电池为能量源的纯电动型号，在此基础上费迪南德还开发出装备4个轮毂电机的四驱车型。

这辆充满灵感的汽车在1900年的巴黎世界博览会上大出风头，受到媒体广泛关注，但并未对他的市场推广有什么帮助。“罗尼尔—保时捷”售价高达15000奥匈帝国克朗，而同期最贵的8马力奔驰Velo售价才5200德国马克，前者是后者的2.6倍。虽然在20世纪初也有汽油价格上涨现象，但受益者更多的是早期电动车。作为市内交通工具，纯电动车曾在19世纪末到20世纪初风行一时，直到1920年欧美城际公路网逐渐形成，电动车“腿短”的缺点越来越明显（这也是同期蒸汽汽车被淘汰的原因之一）后才渐渐淡出人们的视野。

在混合动力技术的奠基者中，还应该记住的一个名字是亨利·皮珀，他是一位德国工程师和发明家。他在1902年左右发明了并联式混合动力系统，甚至开发出了配套的早期动力管理系统。亨利·皮珀将这一成果授权给一家比利时汽车公司Auto-Mixed生产，在1906年到1912年推出一系列车型，如3.5马力的Voiturette。但在亨利·皮珀去世后，Auto-Mixed被另一家公司收购。

1915年，在大西洋另一边的北美大陆上也出现了一家颇具超前性的汽车制造商：欧文·麦哥尼茨（Owen Magnetic）。这家公司专门生产混合动力车型，采用串联式混动系统。在1915年纽约车展上Owen Magnetic的6缸混合动力车型首次与公众见面（见图1-2），由于主顾中包括一些世界闻名的男高音歌唱家，如爱尔兰的约翰·麦考马克和意大利的恩里克·卡鲁索，这个品牌很快就变得广为人知，可以说是早期“明星营销”的成功典范之一。Owen Magnetic一直生产到1921年，他们的最后一款产品是Model 60 Touring（见图1-3）。

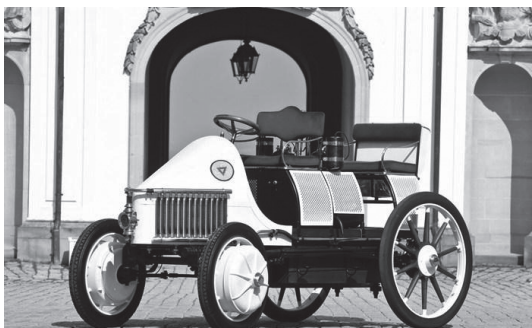


图1-1 保时捷博物馆复原的“罗尼尔—保时捷”Semper Vivus



图 1-2 1915 年 Owen Magnetic 混合动力车



图 1-3 1921 年 Owen Magnetic Model 60 Touring

在同一时期，另一家电动车制造商，芝加哥的伍兹汽车公司也生产混合动力车型。1916年伍兹公司宣称他们的混合动力车最高时速可以达到56千米，百公里油耗4.9升。但与烧汽油的内燃车型相比，混合动力车始终存在价格昂贵和动力偏弱的问题，很快被淹没在汽油机汽车的汪洋大海中。以1913年美国市场为例，电动车加混合动力车共销售了6000辆，而采用汽油内燃机的福特T销售了182809辆。从1920年开始，混合动力汽车进入了一个近40年的静默期。

二、1966年至1980年

1966年，美国国会通过的一项议案，拂去了电动和混合动力车身上的尘埃。为了减轻日益严重的空气污染，这项议案提倡使用电动汽车。1969年，通用汽车推出了他们的应对之策——512系列混合动力实验车。GM512甚至比微型车还小（见图1-4），更像个玩具，只能乘坐2人，后置后驱布局。他采用了一套并联式混合动力系统，速度在16km/h以内由电动机驱动，16~21km/h为电动机和两缸汽油内燃机共同工作，21km/h以上为汽油机单独提供动力，最高时速为64km。这种玩具般的小车在当时的交通环境里基本没有实际意义，因此有批评者认为通用并不愿意亲手终结盈利颇丰的传统汽车产业，只是用512系列来缓解对降低空气污染的舆论压力。



图 1-4 1969 年通用的微型混合动力实验车 512 系列



图 1-5 1977 年丰田混合动力概念车 Sports 800 Hybrid

但1973年，影响全球范围的第一次石油危机再次将电动和混合动力汽车推到聚光灯下，比起作用缓慢的空气污染，钱包变薄问题更迫在眉睫。到1979年，通用汽车在电动汽车项目上花了2000万美元，并乐观地估计到20世纪80年代中期就可以投入量产，直接跳过混合动力的过渡阶段。丰田在1977年也推出了一款混合动力概念车Sports 800 Hybrid（见图1-5），采用“燃气轮机+电动机”的并联形式。

三、1980 年至 1997 年

进入 1980 年后，各大汽车制造商都在进行新能源领域的尝试，奥迪在 1989 年展出了在奥迪 100 Avant Quattro 基础上研发的 Duo 实验车（见图 1-6），由 12.6 马力的电动机驱动后轮，能量来自可充电的镍镉电池，136 马力的 2.3 升 5 缸汽油机驱动前轮。奥迪 Duo 的尝试一直持续到 1997 年，基于 A4 Avant 的第三代 Duo 正式量产（见图 1-7），使奥迪成为第一家生产现代混合动力车的欧洲厂商，但这款车型并未得到市场认可而最终停产。BMW 则在 1991 年推出了电动概念车 E1（见图 1-8），同年日产也发布了他们的电动概念车 FEV（Future Electric Vehicle，见图 1-9），并在 1995 年发布了第二代 FEV（见图 1-10）。

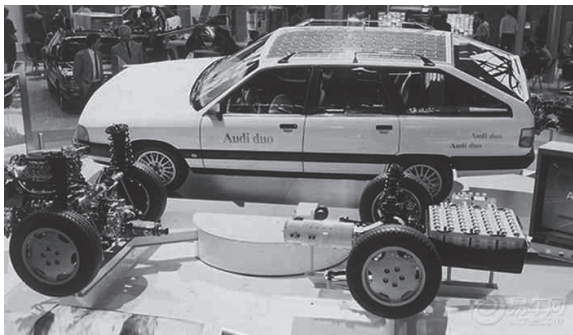


图 1-6 1989 年奥迪第一代混合动力实验车 Duo



图 1-7 1997 年基于 A4 Avant 的第三代 Duo



图 1-8 1991 年 BMW 电动概念车 E1



图 1-9 1991 年日产推出第一代 FEV 概念车



图 1-10 1995 年日产第二代 FEV



图 1-11 1996 年通用诞生的 EV1

1990 年代中期，苦心钻研的通用终于修成正果，世界上第一辆现代意义上的量产电动汽车 EV1 在 1996 年上市（见图 1-11），但它短暂的生命似乎证明了电动车的生不逢时。而 EV1 的兄弟，纯电动的雪佛兰紧凑型皮卡 S-10EV 甚至比它还短命，生产仅 1 年便停产。与 S-10EV 同样命运的还有福特 Ranger EV，在 4 年的生命周期里仅制造了 1500 辆。



图 1-12 1998 年福特纯电动皮卡 Ranger EV



图 1-13 1997 年上市的第一代丰田普锐斯

1996 年诞生的 EV1，在 4 年的生命周期里只生产了 1117 辆。福特在 1998 年也拿出了纯电动皮卡 Ranger EV（见图 1-12），到 2002 年停产共生产了 1500 辆。在 EV1 奋力求生的同时，1997 年第一代丰田普锐斯（Prius）上市（见图 1-13），只在日本市场发售，少量被出口到英国、澳大利亚和新西兰。迄今为止全球最畅销的混合动力车就此诞生，在第一年就卖出 1.8 万辆，而到 2011 年 3 月累计销量达到了 300 万辆。

在混合动力汽车的历史中，日本丰田普锐斯是一个重要标志。在经历了近百年风雨之后，混合动力车终于迎来了自己的春天。

目前世界上已经有 70 余种车型的燃料电池汽车问世，在国外最热门、销量最大的新能源汽车就是混合动力汽车。

四、1997 年至现在

1997 年，第一款量产混合动力品牌普锐斯由丰田推向日本市场，当年售出 1.8 万辆。1999 年，本田混合动力双门小车 insight 在美国推出，受到好评。2007 年年底，美国权威机构 Autodata 的统计数据显示，2007 年 10 月份美国混合动力汽车的销售量与上一年相比，同期增长了 30 个百分点，销售量为 24443 辆。混合动力车型甚至成了平淡的美国汽车市场的一大亮点。2007 年，美国市场销售混合动力车型超过 30 万辆。2007 年 5 月 17 日，丰田混合动力汽车全球累计销售突破 100 万辆。

第二 节

混合动力汽车定义和分类

一、混合动力汽车定义

“Hybrid”译为混合，车尾部标有 hybrid 字样的汽车称为混合动力汽车。混合动力汽车是个大的概念，范围较广，由于实用的混合动力汽车是由内燃机和电动机两种动力混合作为输出，所以称为油电混合动力汽车，本书的“混合动力汽车”仅特指油电混合动力汽车。

从能量源来看，“油”可以代表汽油、柴油，甚至是天然气；“电”是以蓄电池、电容、储能飞轮三种形式储能，但三者储的能量都来源于内燃机带动的发电机发出的，即此时“电也是油”。

二、按串并联分类

传统的混合动力电动汽车分为串联式和并联式。近年来出现了一种同时具有串并联特征的混合动力电动汽车，称为混联式。

1. 串联式

串联式混合动力电动汽车也称为“增程式”电动汽车，如图 1-14 所示为串联式混合动力汽车简化结构示意图。串联就是与车轮直接机械连接的仅是电机。串联式混合动力汽车的工作模式就是用传统内燃机直接通过发电机为电池充电，然后完全由电动机提供的动力驱动汽车。其目的在于使内燃机长时间保持在最佳工作状态，以达到减排的效果。具体地说，内燃机输出的机械能首先通过发电机转化为电能，转化后的电能一部分用来给蓄电池充电，另一部分经由电动机和传动装置驱动车轮。和燃油车相比，它是一种内燃机辅助型的电动车，主要是为了增加车辆的行驶里程。由于在内燃机和发电机之间的机械连接装置中没有离合器，因而它有一定的灵活性。尽管其传动结构简单，但它也需要三个驱动装置：内燃机、发电机和电动机。如果串联混合型电动车设计时考虑爬长坡，为提供最大功率三个驱动装置的尺寸就会较大，如果用作短途运行如当通勤车或只是用于购物，相应的内燃机发电机装置应采用低功率的。这种形式的好处是内燃机可以不受行驶状态的影响，一直处于最佳工作状态，对于改善排放大有好处，但转换效率偏低。丰田曾经将这种串联形式应用在考斯特上，并进行了批量生产。

工作过程如下。

- (1) 纯电动工况：蓄电池→变频器 2→电机 2→变速箱→车轮。
- (2) 内燃机起动：蓄电池→变频器 1→电机 1→内燃机。
- (3) 车辆原地发电：内燃机→电机 1→变频器 1→蓄电池。
- (4) 行驶中串联：内燃机→电机 1→变频器 1→蓄电池→变频器 2→电机 2→变速箱→车轮。

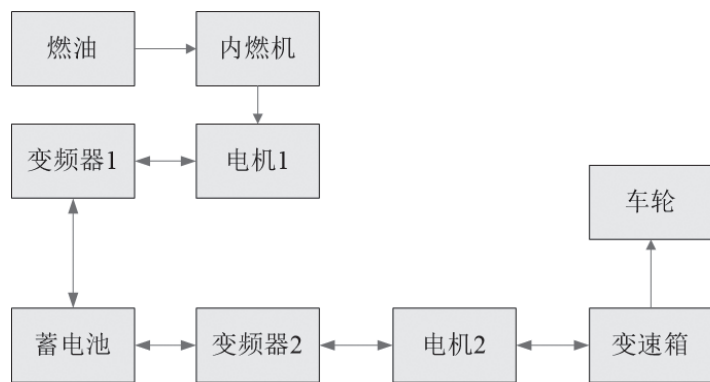


图 1-14 串联式混合动力汽车简化结构示意图

2. 并联式

如图 1-15 所示为并联式混合动力汽车简化结构示意图。所谓并联式混合动力，就是说电动机和内燃机并行排布，动力可以由两者单独提供或是共同提供。在并联混合动力系统中，电动机同时也是发电机，其作用是让内燃机尽量靠近最佳效率状态，以达到节油的效果。并联式混合动力汽车受电动机和电池能力的限制，仍然要以内燃机为主要动力。但由于保留了常规汽车的动力传

递形式，在效率上更高。

具体地说，与串联式混合动力电动汽车不同的是，并联式混合动力电动汽车采用内燃机和电动机两套独立的驱动系统驱动车轮。内燃机和电动机通常通过不同的离合器来驱动车轮，可以采用内燃机单独驱动、电力单独驱动或者内燃机和发电机混合驱动三种工作模式驱动。从概念上讲，它是电力辅助型的燃油车，目的是为了降低排放和燃油消耗。当内燃机提供的功率大于驱动电动车所需的功率或者再生制动时，电动机工作在发电机状态，将多余的能量充入电池。与串联式混合动力汽车比较，它只需两个驱动装置内燃机和电动机，而且在蓄电池放完电之前，如果要得到相同的性能，并联式比串联式混合动力汽车的内燃机和电动机的体积要小。即使在长途行驶时，内燃机的功率可以达到最大，而电动机的功率只需发出一半即可。

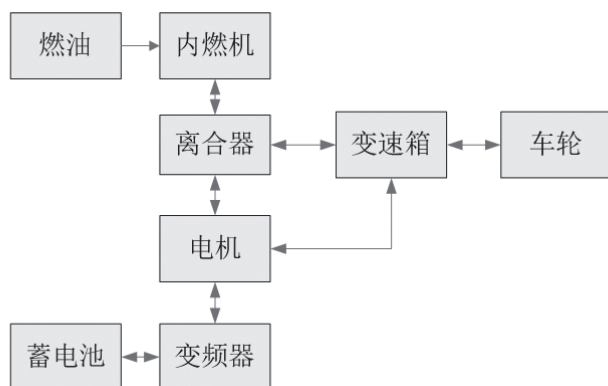


图 1-15 并联式混合动力汽车简化结构示意图

工作过程如下。

- (1) 纯电动工况：蓄电池→变频器→电机（离合器断开）→变速箱→车轮。
- (2) 内燃机起动：蓄电池→变频器→电机→离合器闭合→内燃机。
- (3) 车辆原地发电：内燃机→离合器闭合→电机→变频器→蓄电池。
- (4) 行驶中并联：第一路为内燃机→离合器闭合→变速箱→车轮，第二路为蓄电池→变频器→电机→变速箱→车轮。
- (5) 能量回收：车轮→变速箱→电机→变频器→蓄电池。

3. 混联式

如图 1-16 所示为混联式混合动力汽车简化结构示意图。混联形式顾名思义就是结合了并联和串联两种形式的优点。其在并联的基础上，将发电机和电动机分离开，这样电动机在运转过程中也能进行充电，使车辆能以串联和并联两种形式工作。目前的混合动力汽车基本属于这种模式。具体地说，混联式混合动力汽车在结构上综合了串联式和并联式的特点，与串联式相比，它增加了机械动力的传递路线，与并联式相比，它增加了电能的传输路线。尽管混联式混合动力汽车同时具有串联式和并联式的优点，但其结构复杂，成本高。不过，随着控制技术和制造技术的发展，现代混合动力汽车更倾向于选择这种结构。

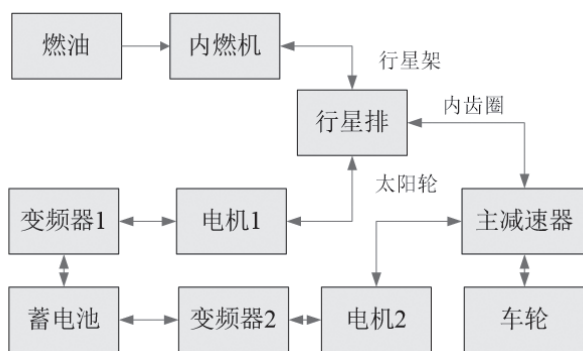


图 1-16 混联式混合动力汽车简化结构示意图

工作过程如下。

(1) 纯电动工况：蓄电池→变频器2→电机2→主减速器→车轮。

(2) 内燃机启动：蓄电池→变频器1→电机1→行星排太阳轮（内齿轮固定或转动）→行星架→内燃机。

(3) 车辆原地发电：内燃机→行星排内齿圈（内齿轮固定）→太阳轮→电机1→变频器1→蓄电池。

(4) 行驶中串联：内燃机→行星排内齿圈（内齿轮转动）→太阳轮→电机1→变频器1→蓄电池→变频器2→电机2→主减速器→车轮。

(5) 行驶中并联：内燃机→行星排的行星架→行星排的内齿圈→主减速器→车轮，同时加上串联过程中电机2的输出。

三、按照混合度分类

混合度指电机功率占动力系统总功率的百分比（动力系统总功率为蓄电池给电机的功率与发动机的功率和），分为微混、轻度混、中度混合、重度混合四种。

1. 微混

混合度小于等于5%的称为微混合动力，“微混”也称“停启”（Stop-Start）式。在交通拥堵的城市，可以实现节油率5%~10%。微混合动力车型的电机基本不具备驱动车辆的功能，一般是用作迅速启动发动机，实现停启功能。

例如，Smart fortwo MHD（双人迷你型混合动力汽车）就属于这种类型。优点是汽车结构改变很小，成本增加很少，易于实现，有可能成为乘用车的标准设置；主要缺点是当停车需要空调时不起作用；推广“停启式”结构需要提高公众的节能意识，且学术界有人认为“停启式”算不上混合动力系统，并不是因为混合度的问题，而是没有电机和发动机共同驱动的过程。

2. 轻度混

混合度在5%~15%的为轻度混合动力。在这种类型中，发动机依然是主要动力，电机不能单独驱动汽车，只是在爬坡或加速时辅助驱动，平时主要使用发动机动力，电机在汽车加速爬坡时提供辅助动力，同时具有制动能量回收和停启功能。

别克君越 ECO-Hybrid 就属于这种轻度混合动力类型。发动机排量可减少10%~20%，节油率可达到10%~15%；技术难度相对较小，成本增加不是很多。

轻度混合动力汽车的特性：车辆停止时，关闭发动机。起步和加速时电机起辅助发动机作用。

减速/制动时，发动机依据传统电控发动机系统控制而执行断油模式，并将获得的再生制动能量充入蓄电池。有技术结构较简单、成本低、应用广泛的优点。

3. 中度混合

混合度在 15%~40% 的为中度混合动力，电机可以单独驱动汽车，其他与轻度混相同。

4. 重度混合

混合度在 40% 以上的为重度混合动力。汽车起步、倒车和低速行驶时为纯电动行驶；在小负荷串联，发动机驱动汽车；中负荷以发动机驱动为主；在大负荷或急加速时电机和发动机同时驱动汽车；具有制动能量回收和停启功能。电机的功率约为发动机功率 50%，节油率可达到 30%~50%，技术难度较大，成本增加多。典型的例子是丰田普锐斯。

四、按能否外接电源进行充电分类

按能否外接电源进行充电，分为混合动力 HEV (Hybrid Electric Vehicle) 和插电式混合动力 PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, 见图 1-17) 两种。

1. 混合动力系统

混合动力系统 (HEV) 不能外接充电，蓄电池的电能在下降一定数值，例如 60% 时，由发动机工作带动高压发电机给蓄电池充电，这种充电大多数是在发动机处于高效率工况时。

2. 插电式混合动力系统

插电式混合动力系统 (PHEV) 是根据欧美驾车习惯而来，能外接充电更有利于节能减排。国外研究机构根据资料统计得出结论，法国城镇居民 80% 以上日均驾里程少于 50 千米，美国汽车驾驶者也有 60% 以上日均行驶里程少于 50 千米，80% 以上日均行驶里程少于 90 千米。因此，在车辆上安装一套巨大的蓄电池组，使其电量足以撑过这一历程，就可以在大部分日常行驶中达到零排放。

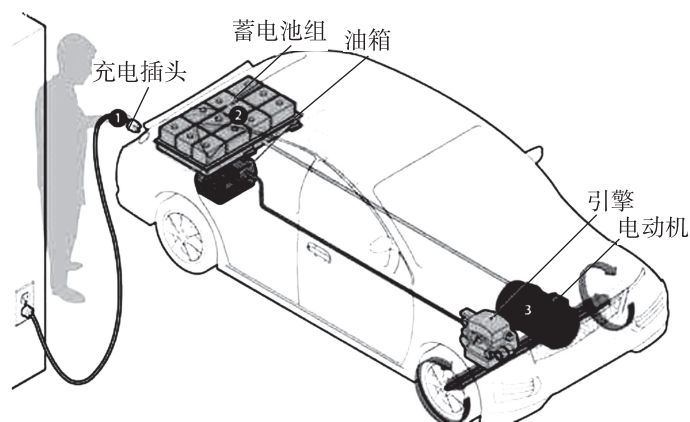


图 1-17 插电式混合动力示意图

插电式混合动力系统的特征是由电能单独驱动，并配备一个大容量的可外部充电的蓄电池组，显著的特性是可通过停车场的 380V 或家庭 220V 交流电源进行充电，也可通过充电站的直流充电桩进行快速充电。插电式混合动力汽车电机的功率接近发动机，可实现较长距离的纯电动行驶，电池容量依纯电动行驶里程来选定，电池成本增加很多，节油率在不计电能时最大可达到 100%。

第三节 两个省油四原则

一、汽车省油四原则

1. 轻量化技术

汽车的轻量化,就是在保证汽车的强度和安全性能的前提下,尽可能地降低汽车的整备质量,从而提高汽车的动力性,减少燃料消耗,降低排气污染。主要指导思想是在确保稳定提升性能的基础上,节能化设计各总成零部件,持续优化车型谱。

实验证明,若汽车整车重量降低 10%,燃油效率可提高 6%~8%;汽车整备质量每减少 100kg,百公里油耗可降低 0.3~0.6 升;汽车重量降低 1%,油耗可降低 0.7%。当前,由于环保和节能的需要,汽车的轻量化已经成为世界汽车发展的潮流。

主要途径有如下几种。

①汽车主流规格车型持续优化(见图 1-18)。规格主参数尺寸保留的前提下,提升整车结构强度,降低耗材用量。

②采用轻质材料,如铝、镁、陶瓷、塑料、玻璃纤维或碳纤维复合材料等。

③采用计算机进行结构设计,如采用有限元分析、局部加强设计等。

④采用承载式车身,减薄车身板料厚度等。

其中,当前的汽车轻量化措施主要是采用轻质材料。



图 1-18 轻量化设计后的车身



图 1-19 车身风洞实验的流线

2. 减风阻技术

空气阻力是汽车行驶时所遇到最大的也是最重要的外力。空气阻力系数,又称风阻系数,是计算汽车空气阻力的一个重要系数。它是通过风洞实验(见图 1-19)和下滑实验所确定的一个数学参数,用它可以计算出汽车在行驶时的空气阻力。风阻系数的大小取决于汽车的外形。风阻系数越大,则空气阻力越大。现代汽车的风阻系数一般在 0.3~0.5 之间。风阻系数不仅应用于空气,也适用于其他流体内部。

风阻是车辆行驶时来自空气的阻力,一般空气阻力有三种形式:第一是气流撞击车辆正面所产生的阻力,就像拿一块木板顶风而行,所受到的阻力几乎都是气流撞击所产生的阻力。第二是摩擦阻力,空气与划过车身一样会产生摩擦力,然而以一般车辆能行驶的最快速度来说,摩擦阻力小到几乎可以忽略。第三则是外形阻力,车辆高速行驶时,外形阻力是最主要的空气阻力来

源。外形所造成的阻力来自车后方的真空区，真空区越大，阻力就越大。一般来说，三厢式的房车的外形阻力会比掀背式休旅车小。

3. 高效率动力机械

动力机械的高效率包括燃烧高效率和机械高效率。

(1) 发动机燃烧高效率。汽油机或柴油机的转矩输出特性不适合驱动汽车，加之驱动轮转速和发动机转速之间相互影响，使发动机不能高效地工作。为使发动机燃烧高效率可采用重混的油电混合动力机械（见图 1-20），这种发动机的转速受车轮转速影响比较小。

(2) 机械高效率包括松的活塞气环和油环，电动水泵替换机械水泵，机油泵采用变量泵，机油采用更低黏度的机油，转飞溅润滑为压力润滑等。

4. 高效率传动系统

高效率传动系统包括离合器、变速箱、分动箱、万向节、驱动桥到车轮等在传动过程中是高效的，不仅是变速箱本身（见图 1-21）。

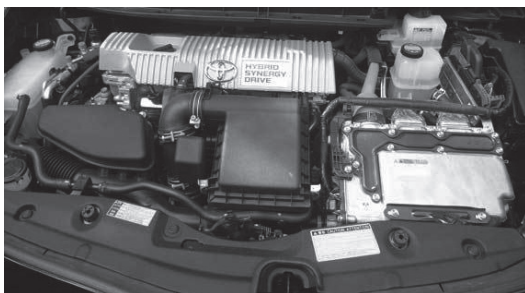


图 1-20 高效重混的油电混合动力机械

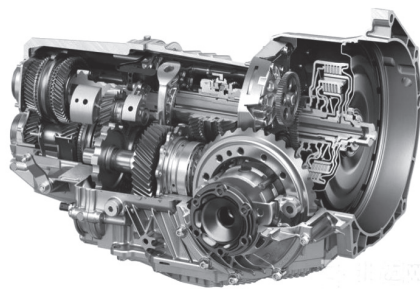


图 1-21 高效率传动系统（变速箱传动高效率）

二、发动机节油四原则

1. 小排量发动机

内燃机设计上普遍是大马拉小车。汽车为保证其加速和爬坡性能，内燃机的最大功率选定约为车辆以 100km/h 在平路上行驶时需求功率的 10 倍，或者是在 6% 坡度上 100km/h 行驶时需求功率的 3~4 倍。传统汽车为了保证动力性，匹配了过大的内燃机，导致内燃机大部分时间以低负荷工作，出现“大马拉小车”的现象，这是内燃机低效率的主要原因之一。

为了节油，混合动力汽车内燃机采用了 DOWNSIZE 技术，也就是采用内燃机小排量的技术。

2. 怠速停启技术

混合动力汽车没有怠速工况。传统内燃机需要产生扭矩以维持自身怠速运转，基本不向外输出扭矩。另外，内燃机扭矩要以怠速扭矩为基础，在一定范围内，要随转速上升其输出扭矩上升，这种特性不利于汽车行驶，而混合动力汽车中的电机则在一开始起动就能达到峰值扭矩，根本不需要怠速。当电机转速上升时，输出扭矩也随之降低，这种特性恰好适用于汽车低速大扭矩、高速小扭矩的动力需求。

3. 工作在经济区

内燃机和车轮间的直接机械连接关系使内燃机效率低。为适应驱动的需要，内燃机工作是变工况工作，所以效率从低效率到高效率变化很大，但平均效率仍然很低。

电机和内燃机混合驱动可以提高内燃机效率。原因是内燃机的效率虽然很低，但永磁电机的发电和电动效率都在 95% 左右，混动过程中有多阶段的能量损失，但由于此时内燃机是在高效率下产生的能量，即使经这些阶段的能量损失，最后留下的能量也比传统内燃机一个动力机械实现同样的功能要多。混合动力汽车利用内燃机在高效率区工作，驱动汽车的同时也发出电能来储存在蓄电池内，储存的能量会在内燃机进入低效率区域时发挥作用，例如低速时采用纯电动工况，中高速则采用内燃机工作发电的混合动力工况，急加速和高速则采用电机电动的混合动力工况。

内燃机在中等转速时，一般汽车恒速在 60~90km/h 的速度范围，内燃机效率最高，电机参与度下降，这样内燃机基本都工作在高效率区就省油了。

4. 制动能量回馈

传统汽车在制动过程中没有能量回收功能，而混合动力汽车有能量回收功能。

从技术上讲，混合动力汽车的纯电动工况就是纯电动汽车，混合动力汽车在内涵上就包括了纯电动汽车。要说区别就是混合动力汽车原则上不是一定要充电，纯电动汽车必须要充电。从汽车的发展来看，纯电动汽车（这里指高速电动汽车）是未来发展的终极方向（但并不是要全部代替燃油车，至少在燃油完全枯竭前）。目前，电动汽车成本高、充电时间长和续航里程偏短等因素仍阻碍着电动汽车产业的快速发展，而从节能和环保两大主题出发的混合动力汽车发展较好。

第四节 油电混动机械特性

一、电动汽车电机机械特性

电动汽车的电机由于有变频器控制，变频电机的机械特性与工频电机的机械特性不同。如图 1-22 所示为电动机在变频器控制下的机械特性曲线，是一条受控曲线，这条曲线不仅与负载有关，还与变频器的控制输出有关。曲线图中，低速时扭矩先大后小，同时电机最高转速时的扭矩也不是很低，电机的机械特性比内燃机更适合驱动汽车。

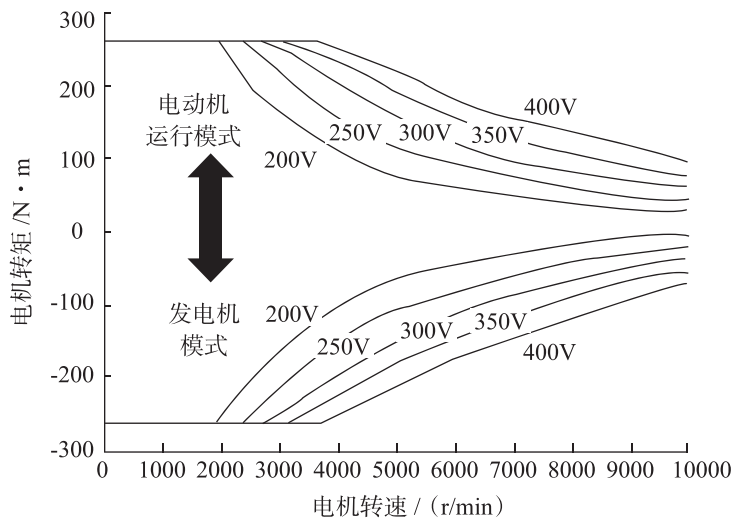


图 1-22 电动机在变频器控制下的机械特性曲线

二、内燃机机械特性

如图 1-23 所示为目前奥迪某高档的电控直喷内燃机系统控制出的机械外特性曲线，除了内燃机的升功率（接近 75kW/L）大大提升外，同时内燃机在 1800r/min 至 5000r/min 时都能输出最大扭矩 280N·m，这说明汽车在不同车速都有极好的加速超车能力，这是涡轮增压和可变配气相位技术的功劳。

但是，图中 800~1800r/min 转速时扭矩特性不适合汽车大扭矩起步的需要，因此更多依赖变速箱。

三、油电混动机械特性

如图 1-24 所示为奥迪 Q5 混合动力 2.0L TFSI 发动机，发动机代码 CHJA 的扭矩—功率特性曲线，从虚线可以看出扭矩和功率都得到了提升，低速小功率时产生大扭矩才是汽车行驶需要的扭力输出。

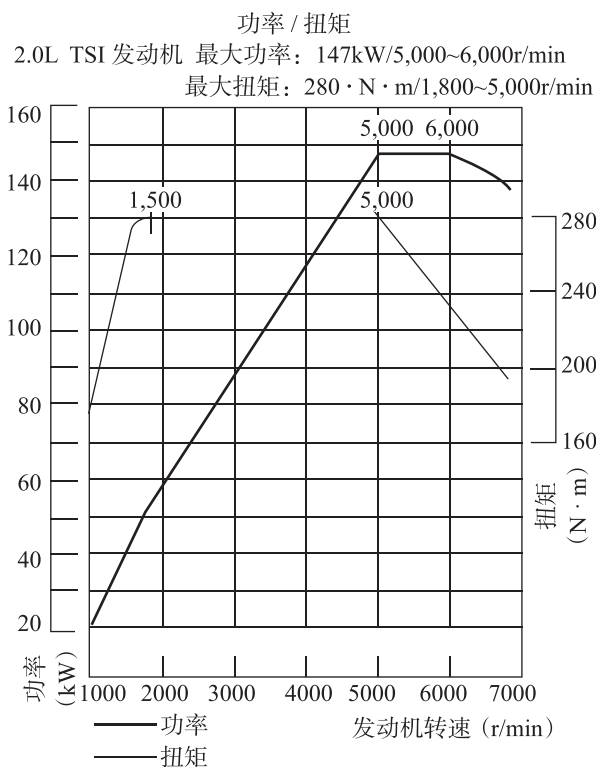


图 1-23 目前内燃机系统控制出的机械特性最好的外特性曲线形状

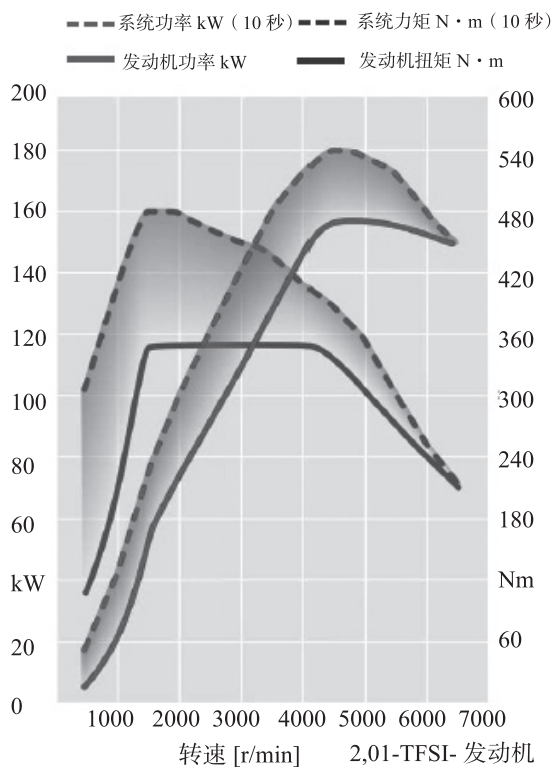


图 1-24 轻混型油电混合动力机械的扭矩—功率特性曲线

第五 节

微混型混合动力汽车

传统燃油汽车的怠速停启功能有强化起动机启动和强化电动/发电机 (ISG) 启动两种方式, 但只有强化电动/发电机启动才是微混型。

一、ISG 电机

采用 36V (也称为 42V 系统) 或更高电压的 ISG (Integrated Starter & Generator, 集成启动/发电) 电机, 如图 1-25 所示的皮带式怠速停启系统, 也称 BSG (Belt Starter & Generator 皮带传动启动/发电) 电机,

是一种采用皮带传动方式进行油电混合, 具备怠速停机和起动的弱 (微) 混合动力技术, 若此电机有辅助加速功能就称为混合动力, 若仅有启动和能量回收则不称为微混。

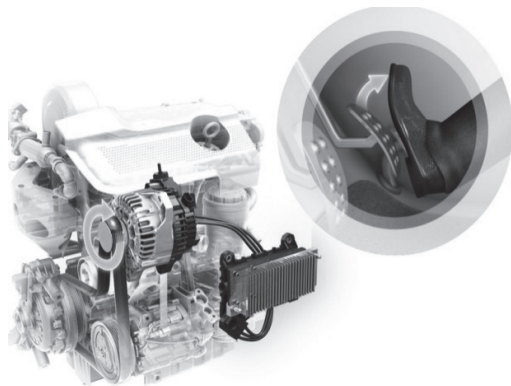


图 1-25 皮带式怠速停启系统

二、皮带式启动/发电机

ISG 是集成的具有起动机功能的发电机的缩写, 将 ISG 电机放在传统汽车发电机的位置, 通过 ISG 电机驱动皮带来驱动发动机曲轴帮助发动机实现停启或加速助力, 也可利用 ISG 电机在发动机小负荷时发电, 无法实现纯电驱动。

上面的这种结构也通常称为 Belt Alternator Starter 或 Belt Starter Generator 系统, 即 BAS 或 BSG 混合动力系统, 注意这个电机的功率较大时才能成为轻混。

君越混合动力系统结构如图 1-26 所示。起动机/发电机总成 MGU (Motor Generator Unit)、起动机/发电机功率控制模块 SGCM (Starter Generator Control Module), 也称变频器、36V 镍氢电池组 (Ni-MH)、12V 铅酸蓄电池。

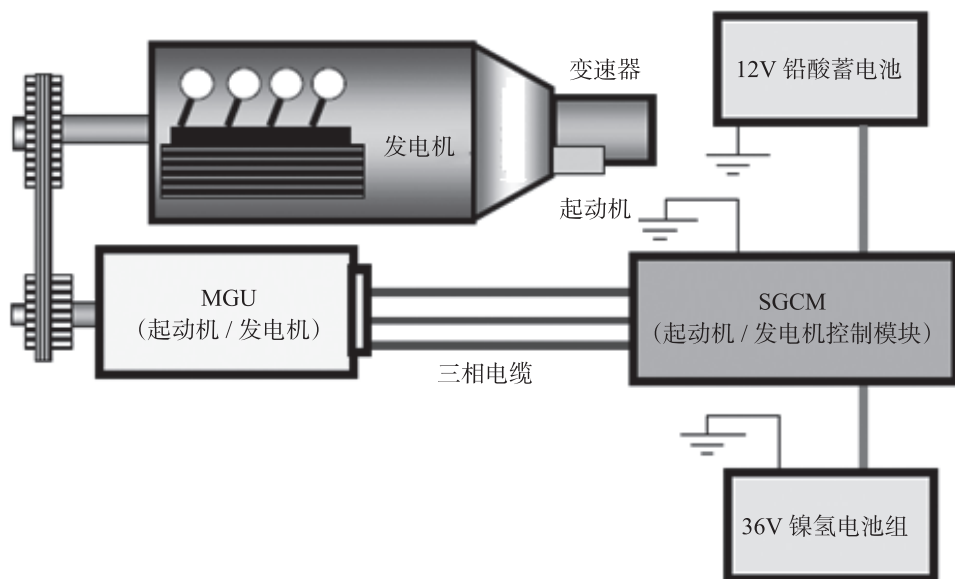


图 1-26 君越 BAS 混合动力系统结构

三、工作过程

1. 燃油供给阶段

指发动机正常工作，消耗燃油。

2. 加速电机助力

当驾驶员踩下油门比较深时，通过电机对车辆进行电动助力。

3. 智能充电阶段

指电机由发动机带动旋转，电池组尽可能地从发动机小负荷工作过程中通过发电增加发动机负荷而发电。

4. 减速断油阶段

指当车辆进入滑行阶段或停下来后，发动机被切断燃油供应，在某些滑行期间，为了保证扭矩的平顺性，电机也将转动。

5. 再生制动阶段

指当车辆减速时，发动机停止供油，变矩器锁止，车辆带动发动机转动，电机此时作为发电机进行发电，发电机相当于车辆的负载，对车辆有制动作用（类似于发动机制动），系统进入再生制动阶段。

第六节 轻混型混合动力汽车

一、轻混功能

轻混型混合动力系统的车辆主要功能有怠速停启、再生制动、辅助驱动、发电四种功能。

HCU (Hybrid Control Unit) 混合动力控制单元会根据驾驶员请求（油门踏下深度）、电池箱能量存储单元的状态（能允许放出的电量）、电驱动系统状态（停车、行车）以及整车车辆状态等控制 ISG 电机的工作模式，自动实现以上四种功能。

二、轻混奔驰组成

奔驰 400 代表了轻混合动力的高端水平，其主要零部件如图 1-27 所示。由高压锂离子电池模块、电机功率模块、电动机组成的电动助力系统；DC/DC 转换器为直流电压转换系统；转换系统采用了 HEPS 液压电动转向系统；功率控制器如电机控制器和 DC/DC 转换器采用了双电动冷却循环泵的设计；制动系统采用了电动真空泵、真空助力器、ABS 控制单元配合电动机实现再生制动；空调采用电控电动压缩机。

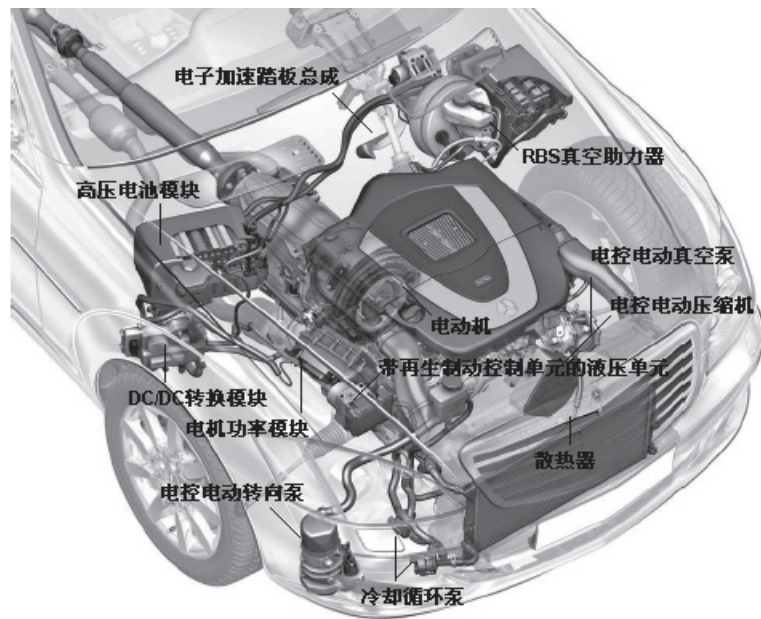


图 1-27 奔驰 400 混合动力系统主要零部件

其动力系统结构如图 1-28 所示由六缸发动机、电动机、七挡自动变速器、锂离子蓄电池、功率控制模块、12V 交流发电机、DC/DC 转换器组成。

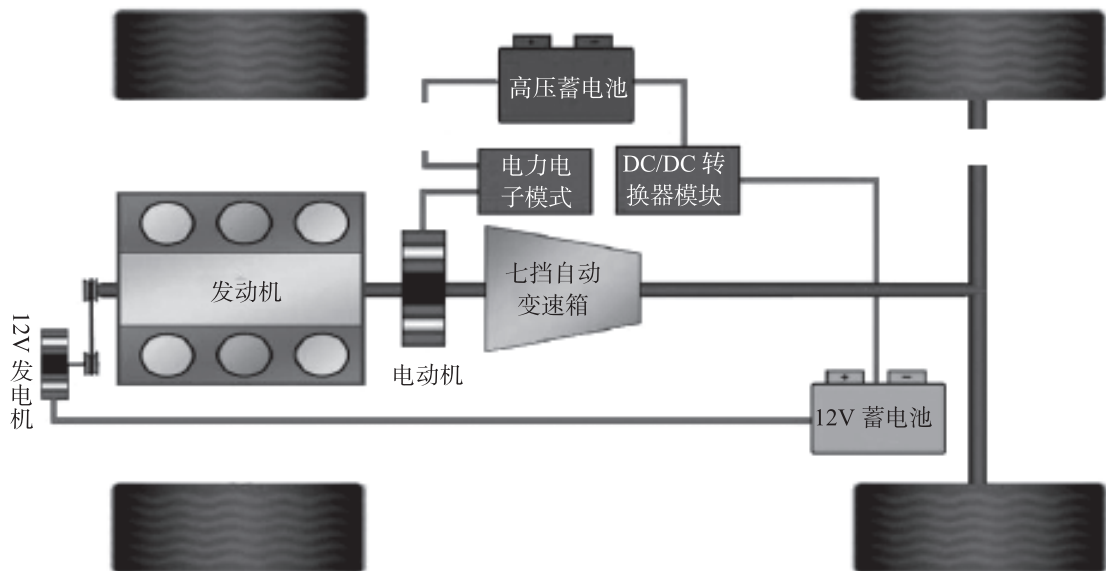


图 1-28 奔驰 400 的混合动力系统结构

三、工作过程

1. 起动过程：高压蓄电池→变频器→电机→发动机。
2. 原地充电过程：发动机→电机→变频器→锂离子电池；同时双向 DC/DC 转换器模块将高压蓄电池电降压为 14V 为 12V 蓄电池充电。
3. 行驶中：发动机→变速器输出→车轮；这个过程中可以有原地充电过程。
4. 高压应急起动：12V 蓄电池→双向 DC/DC 转换器模块→锂离子电池→变频器→电

机 → 发动机。

12V 蓄电池仍保留传统汽车的发电机，目的是增加电气系统的可靠度。

第七节 串联式混合动力结构

一、基本结构

串联式混合动力汽车的化学能、电能、机械能传递示意图如图 1-29 所示。

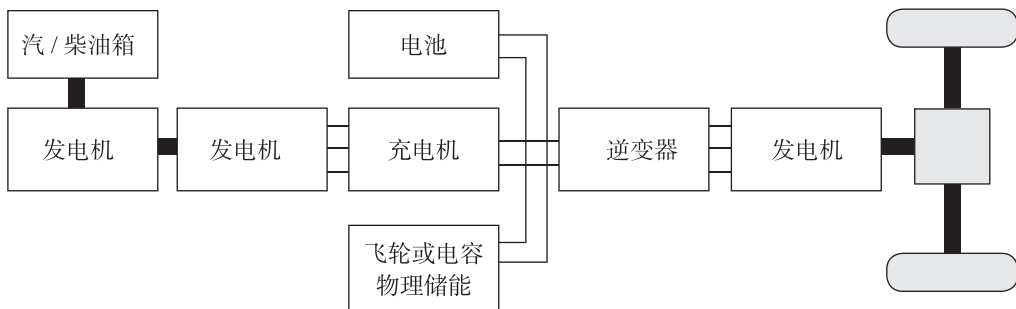


图 1-29 串联式混合动力化学能、电能、机械能传递示意图

二、Volt 动力系统结构

美国通用公司的 Volt 增程式电动汽车于 2010 年 7 月在北美上市，是世界首款量产增程式汽车，其结构示意图如图 1-30 所示。增程器由 1.4 升汽油发动机和永磁直流发电机组成。在 Volt 中，主驱动电机和发电机与行星齿轮机构集成设计，称之为 Voltec 系统。

两台电机之间通过行星齿轮机构驱动车辆。与前述基本结构不同的是，Volt 还包括两个离合器 C_1 、 C_2 和一个制动器 B。根据车辆不同的行驶模式，通过控制这些离合器和制动器使发电机处于不同的工作状态。

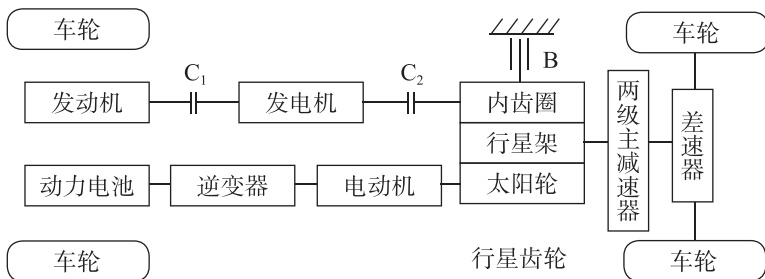


图 1-30 Volt 增程式电动汽车的化学能、电能、机械能传递过程

三、工作模式

1. 模式 1（低速纯电力驱动）

在该模式（见图 1-31）下，内齿圈被制动器 B 锁止，而离合器 C_1 与离合器 C_2 均处于脱开状

态。故而发电机与发动机以及行星齿轮均无接触，两者都不工作。太阳轮通过行星齿轮减速后将动力传输给行星齿轮架和输出轴驱动车轮，因而车辆仅由主驱动电机驱动。

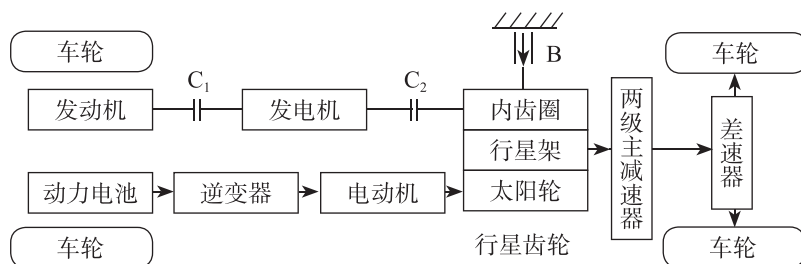


图 1-31 模式 1 (低速纯电力驱动)

2. 模式 2 (高速纯电力驱动)

在模式 2 (见图 1-32) 下，随着车速提升，主驱动电机的转速也随之加快。考虑到保护主驱动电机 MG2 为降低转速，就不再适合仅仅由单电机驱动。因此，这一模式被设计成离合器 C_1 分离，离合器 C_2 结合，发电机与内齿圈连接，发电机 MG1 和电机 MG2 合力驱动车辆。此时发电机 MG1 从动力电池中获取能量以输出动力。而双电机驱动，使得电机转速从 6500r/min 降低至 3250r/min。但是，请注意，内燃机没有参与到提供动力的进程中来。

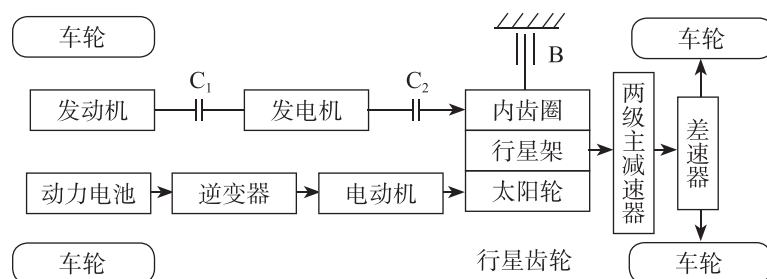


图 1-32 模式 2 (高速纯电力驱动)

3. 模式 3 (低速增程)

在模式 3 (见图 1-33) 下，当 Volt 的电池组达到其设定的电量剩余临界点时，第三种模式将启动。离合器 C_1 和制动器 B 工作，此时内燃机就会直接去驱动发电机 MG1 进行发电，而由于内齿圈固定不转，车辆仍然是由主驱动电机 MG2 驱动。主驱动电机从电池以及由发动机带动发电机产生的电力组合中获取电能，从而驱动车辆。

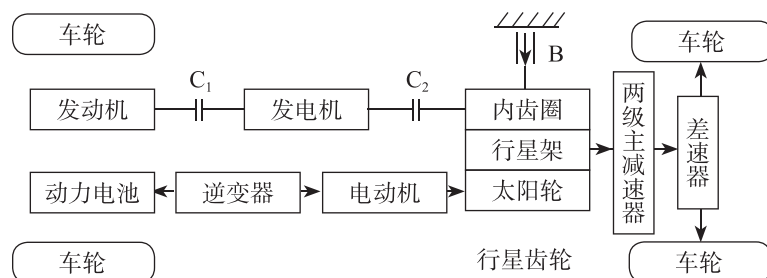


图 1-33 模式 3 (低速增程)

4. 模式 4 (高速增程)

模式 4 (见图 1-34) 与模式 2 一样, 双电机驱动模式将再次启用。制动器 B 脱开, 离合器 C_1 、 C_2 同时接合。车辆的驱动力来自电动机和发动机的动力耦合。

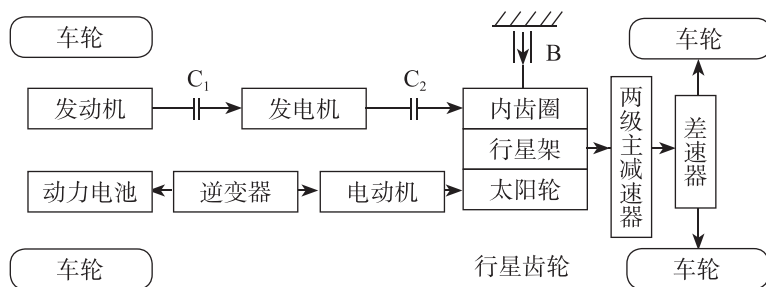


图 1-34 模式 4 (高速增程)

第八 节

丰田普锐斯混联式混合动力汽车结构

一、丰田普锐斯品牌简介

丰田普锐斯是史上第一款量产的混合动力汽车, 1997 年量产上市, 不过中国区域普锐斯是在 2001 年上市第一代, 到 2004 年推出第二代, 2009 年 4 月丰田普锐斯第三代上市。丰田普锐斯是史上第一款销售量超 100 万辆的混合动力汽车, 自 1997 年量产上市以来, 10 年光景在全球 40 多个国家的销售数量接近 120 万辆, 其中美国、日本分别超过 70 万辆、30 万辆, 美国市场的月销量都接近于 1.5 万辆, 占美国同期混合动力汽车市场半壁江山, 也是丰田混合动力车的主力车型, 为丰田集团贡献 70% 的混合动力汽车销量, 而丰田系的凯美瑞、汉兰达、雷克萨斯 RX400h、LS600hL、GS450h 五个混合动力车型的总销量也不及普锐斯的一半。

二、丰田普锐斯结构组成

1. HV 蓄电池

第二代普锐斯的 HV 蓄电池有 168 个蓄电池 (1.2V × 6 单体 × 28 组), 额定电压为 DC 201.6V。通过这些内部改进, 蓄电池具有紧凑、重量轻的特点。蓄电池和蓄电池间为双点连接, 这样的改进使蓄电池的内部电阻得以降低。变频器总成中配有增压转换器。它可以将 HV 蓄电池输出的额定电压 DC 201.6 V, 增压到最大值 DC 500V。MG1、MG2 桥电路和信号处理器 / 保护功能处理器已集成在 IPM (集成动力模块) 中以提高车辆性能。集成在变频器总成中的空调变频器为空调系统中的电动变频压缩机提供电能。将变频器散热器和发动机散热器整合为一, 更加合理地利用了空间资源。

2. 电机

通过提高 MG1 转子的强度, 使其最大可输出转速为 10 000r/min, 从而提高了充电能力。MG2 转子内的永磁铁变为 V 形结构, 使扭矩和输出功率增大。

对于 MG2 控制, 在 MG2 的中速范围内引入了新研制的过调控制系统。

3. 控制系统

HV ECU 中的 CPU 由 16 位变为 32 位, 提高了处理信号的速度。发动机 ECU 中的 CPU 由 16 位变为 32 位, 提高了处理信号的速度。蓄电池 ECU 优化结构后更加紧凑。蓄电池 ECU 中的 CPU 由 16 位变为 32 位, 提高了处理信号的速度。制动防滑控制 ECU 中的 CPU 由 16 位变为 32 位, 提高了处理信号的速度。通信上与 THSII 控制系统相连的主要的 ECU (HV ECU、蓄电池 ECU、发动机 ECU 和制动防滑控制 ECU) 间采用了 CAN (控制器局域网) 通信网络来建立通信。

4. 发动机

第二代丰田普锐斯采用 1.5L 小型发动机, 集合了各式混合动力系统的优势发动机和发电机可根据行驶状况共同驱动或分开单独使用。停驶时自动停止发动机, 减少能量浪费, 更有效地控制发动机和电动机, 加速反应更快。

5. 电力无级变速驱动桥

混合动力变速驱动桥由发电机 MG1、驱动电机 MG2 和行星齿轮组组成。混联式是串并联相结合的系统, 这种混合动力系统是由点燃式发动机和两台采用永久磁铁的三相交流异步电机组成。三相交流异步电机也可以作为发电机运行 (电动机 MG1 和发电机 MG2)。内燃机与两台电动机通过行星齿轮机构相互连接。MG2 和驱动轮的差速器通过传动链条和齿轮连接在一起。通过行星齿轮组传输的发动机输出功率分为两部分, 太阳齿轮→MG1、环齿轮→MG2、行星齿轮架→发动机输出轴。

丰田普锐斯混联式混合动力系统变速驱动桥结构如图 1-35 所示, 变速驱动桥主要包括变速驱动桥阻尼器 (带扭转减振的飞轮、MG1、MG2 和减速装置)、链、中间轴主动齿轮、中间轴从动齿轮、主减速器小齿轮和主减速器环齿轮, 行星齿轮组、MG1、MG2。变速驱动桥阻尼器和主动链轮都安装在同心轴上, 动力从主动链轮传输到减速装置。

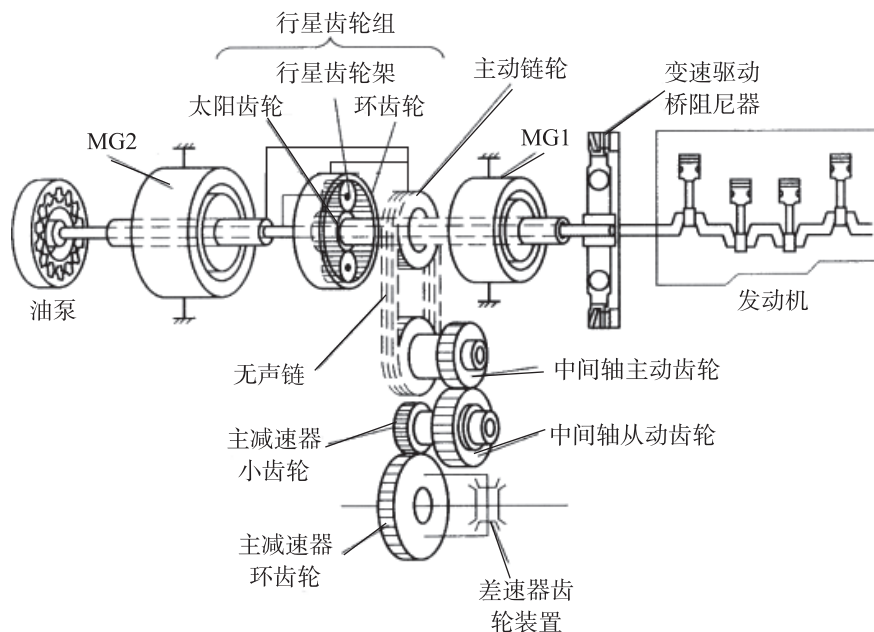


图 1-35 变速驱动桥组成