

● 看图学修车系列丛书 ●

看图 学 修

图文协调 一看就懂
深入浅出 一点就通
理实结合 一学就会

第2版

汽车混合动力系统

姚科业◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

看图学修车系列丛书

看图学修汽车混合动力系统

第2版

姚科业 主编



机械工业出版社

《看图学修汽车混合动力系统 第2版》从实际出发,系统、全面地介绍了混合动力汽车的分类、混合动力系统的组成和工作原理及典型混合动力系统的维修。全书共分四章,内容主要包括混合动力汽车概述、丰田凯美瑞混合动力系统的结构原理与维修、本田思域混合动力系统的结构原理与维修和宝马 ActiveHybrid X6 混合动力系统的结构原理与维修。

本书内容全面、翔实具体、操作性强、浅显易懂,适合从事汽车维修、销售和技术管理等工作的工人和技术人员阅读,也可供汽车维修、汽车检测及相关技术人员作培训或参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

看图学修汽车混合动力系统/姚科业主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2016. 11

(看图学修车系列丛书)

ISBN 978-7-111-55076-1

I. ①看… II. ①姚… III. ①混合动力汽车—动力系统—车辆修理—图解 IV. ①U469.707-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 243176 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:孟阳 连景岩 责任编辑:孟阳

责任校对:刘志文 封面设计:马精明

责任印制:李洋

中教科(保定)印刷股份有限公司印刷

2016年11月第2版第1次印刷

184mm×260mm·23.75印张·579千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-55076-1

定价:68.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

汽车废气排放和能源成本问题一直备受关注,混合动力汽车和电动汽车被看作是一种自然的发展目标。通过了解整个混合动力汽车和电动汽车传动系统的能量消耗情况,以及传动系统内部各个相关部件的运转状态,可以最大程度地优化汽车设计,从而达到降低油耗的目标。

混合动力汽车(Hybrid Electric Vehicle, HEV)指同时装备两种动力系统的汽车,这是广义上的混合动力汽车。狭义上的混合动力汽车则指由传统的汽油机或者柴油机与电力源(蓄电池与电动机)联合驱动的汽车。混合动力汽车的发动机要使用燃油,在起步、加速时,由于有电动机的辅助,动力系统可以按照整车的实际运行工况要求灵活调控,使发动机保持在综合性能最佳的区域内工作,从而降低油耗与排放。

放眼全球汽车市场,丰田堪称混合动力的鼻祖。丰田成功的因素很多,其中之一就是对混合动力技术的开发和应用。混合动力技术是丰田的核心技术。丰田的混合动力系统是全混合系统。它拥有一台汽油机和一台电动机。这种系统能够实现电动机的单独驱动。目前,丰田的油电混合动力技术已经发展到第二代。

除丰田公司外,其他汽车厂商也在混合动力汽车研究和开发上取得了不错的成绩。目前,在国内市场上有几款混合动力技术比较成熟的合资汽车,如丰田凯美瑞、别克君越和大众途观等。国内汽车厂商也在这一领域取得了不错的成绩,如比亚迪汽车公司。

目前,市面上有关混合动力汽车的书很少,为了让更多人,特别是使用和维修混合动力汽车的人更深入、全面地了解混合动力汽车,我们编写了本书。本书第2版以丰田凯美瑞、本田思域、宝马 ActiveHybrid X6 为主,用通俗的语言和详细的图表讲解了混合动力汽车的结构、原理与维修。

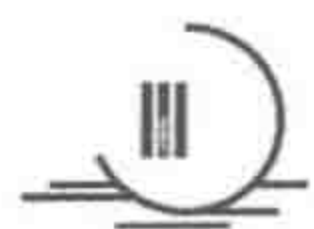
本书共分四章,第一章对混合动力汽车的定义、分类、组成等进行了介绍。相较第1版,特别增加了蓄电池一节,着重讲解蓄电池在混合动力系统中的应用情况。第二章详细介绍了丰田凯美瑞混合动力汽车的结构、工作原理与维修。第三章详细介绍了本田思域混合动力汽车的结构、工作原理与维修。第四章详细介绍了宝马 ActiveHybrid X6 混合动力汽车的结构、工作原理与维修。

本书由姚科业主编,参加编写的人员还有李其龙、李春晖、李善良、林伟康、叶发金、杨飞燕、郑跃伟、潘志光、杨汉珠、杨水建、欧春英、许晓嫦、廖叶茂、丁红艳、钟丽兰、吴江平等。在本书的编写过程中,编者参考了国内外许多同行、专家的论文及论著的研究内容,在此向他们致以衷心的感谢!

本书可作为技术人员和维修人员学习和掌握混合动力汽车结构、工作原理和维修的入门书,适合从事汽车维修、销售和技术管理等工作的工人和技术人员阅读,也可供汽车维修、汽车检测及相关技术人员作培训或参考之用。

本书所涉及的技术内容较新,范围较广,碍于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者不吝指正。

编 者



目 录

前 言

第一章 混合动力汽车基本结构与工作原理	1
第一节 混合动力汽车的基本原理	1
一、混合动力汽车的概念	1
二、混合动力系统的主要部件	2
三、混合动力汽车的优缺点	4
第二节 混合动力系统的类型	4
一、按结构来分类	4
二、按混合程度来分类	6
第三节 混合动力电驱动系统	7
一、混合动力汽车电驱动系统概述	7
二、直流电动机	9
三、三相异步感应交流电动机	10
四、永磁电动机	11
五、开关磁阻电动机	15
六、电动机的控制	16
第四节 混合动力系统中的蓄电池	18
一、混合动力汽车对蓄电池的基本要求	18
二、蓄电池的性能要求	19
三、铅酸蓄电池	21
四、镍-镉电池	22
五、镍-氢电池	23
六、锂离子电池	25
七、蓄电池管理系统	28
第二章 丰田凯美瑞汽车混合动力系统维修	32
第一节 凯美瑞汽车混合动力系统的工作原理	32
一、丰田混合动力系统-II (THS-II) 概述	32
二、凯美瑞汽车混合动力系统的组成	38
三、凯美瑞汽车混合动力系统的工作原理	53
四、混合动力系统维修注意事项	76
第二节 混合动力控制系统的维修	78
一、混合动力控制系统	78
二、冷却液(逆变器)	105
三、带转换器的逆变器	107



四、混合动力车辆控制 ECU	113
五、带电动机的水泵	115
六、副散热器	116
七、线束组	117
八、加速踏板拉杆	121
九、前断路器传感器	121
十、检查 IGCT 继电器	122
第三节 混合动力蓄电池系统的维修	122
一、混合动力蓄电池系统	122
二、HV 蓄电池	127
三、蓄电池智能单元	133
四、HV 继电器总成	133
五、检查蓄电池鼓风机继电器	138
六、维修塞把手	138
七、蓄电池鼓风机	140
八、混合动力车辆转换器	141
第四节 混合动力变速器和传动桥的维修	144
一、车上检查混合动力传动桥系统	144
二、更换混合动力传动桥油	145
三、变速杆位置传感器	146
四、混合动力车辆传动桥	149
五、变速杆	154
六、混合动力传动桥油封	162
七、输入轴油封	163
八、传动桥控制拉索总成	164
第三章 本田思域汽车混合动力系统维修	168
第一节 思域混合动力系统的工作原理	168
一、混合动力系统的组成	168
二、混合动力系统的工作原理	171
三、IMA 控制系统	174
四、混合动力车型制动系统	175
五、IMA 系统维修前的注意事项	176
第二节 IMA 混合动力系统的维修	178
一、一般故障处理信息	178
二、IMA 系统故障码诊断	181
三、指示灯	236
四、IPU 模块	241
五、BCM 模块的拆卸与安装	242
六、DC-DC 转换器的拆卸与安装	243



七、电源控制装置(PCU)	243
八、更换 MCM	245
九、蓄电池	245
十、接线板	246
十一、更换高压接触器	247
十二、更换旁通接触器	248
十三、更换旁通电阻器	248
十四、IMA 电机	249
第四章 宝马 ActiveHybrid X6 混合动力系统	256
第一节 概述	256
一、宝马 ActiveHybrid 车辆标识	257
二、双模式主动变速器	258
三、镍-氢电池	259
四、系统工作过程	260
第二节 改进型 N63 发动机	261
一、冷却系统	261
二、带传动机构	263
第三节 主动变速器	263
一、结构	263
二、系统电路图	265
三、分布式功能	267
四、自适应变速器控制系统	268
五、主动变速器的工作原理	269
六、档位形成	274
七、机油供给系统	278
八、中央变速器	279
九、混合动力驻车锁	282
第四节 燃油供给系统	286
一、概述	286
二、组件	287
三、加油过程	291
第五节 混合动力制动系统	292
一、概述	292
二、系统组成	292
三、系统功能	292
四、系统组件	298
第六节 电动机械式助力转向系统	304
一、系统组成	305
二、电路原理	308



三、系统功能·····	308
第七节 总线系统·····	313
一、E72 总线系统的调整·····	313
二、新的总线系统和控制单元·····	316
第八节 供电·····	322
一、概述·····	322
二、12V 蓄电池·····	323
三、断路继电器·····	323
四、附加熔丝支架·····	325
五、极性接错保护·····	326
六、能量管理系统(14V 车载网络)·····	326
第九节 高电压蓄电池单元·····	331
一、概述·····	331
二、功能·····	342
三、高电压蓄电池的维修·····	347
第十节 供电电子装置·····	352
一、APM·····	353
二、供电电控箱 PEB·····	356
三、供电配电盒 PDB·····	359
四、高电压导线·····	359
第十一节 显示和操作单元·····	364
一、组合仪表内显示·····	364
二、中央信息显示屏内的显示内容·····	364
三、混合动力特有检查控制信息·····	366
四、操作·····	367
第十二节 空调系统·····	367
一、电动空调压缩机(EKK)的结构·····	368
二、冷却系统·····	369
参考文献·····	371

第一章

混合动力汽车基本结构与工作原理

第一节 混合动力汽车的基本原理

一、混合动力汽车的概念

从广义上说，混合动力汽车指拥有至少两种动力源，靠其中一种或多种动力源提供部分或者全部动力的车辆，也称复合动力汽车。而实际生活中，混合动力汽车多指以传统内燃机和电动机作为动力源，混合使用热能和电能的汽车。混合动力汽车使用的内燃机既有柴油机又有汽油机，因此可以使用传统汽油或者柴油，经过改造也可使用其他替代燃料，如压缩天然气、丙烷和乙醇等。混合动力汽车使用的电力系统中包括高效强化的电动机、发电机和蓄电池。图 1-1 所示为混合动力电驱动系统的示意图，以及可能的各种动力流的通路。

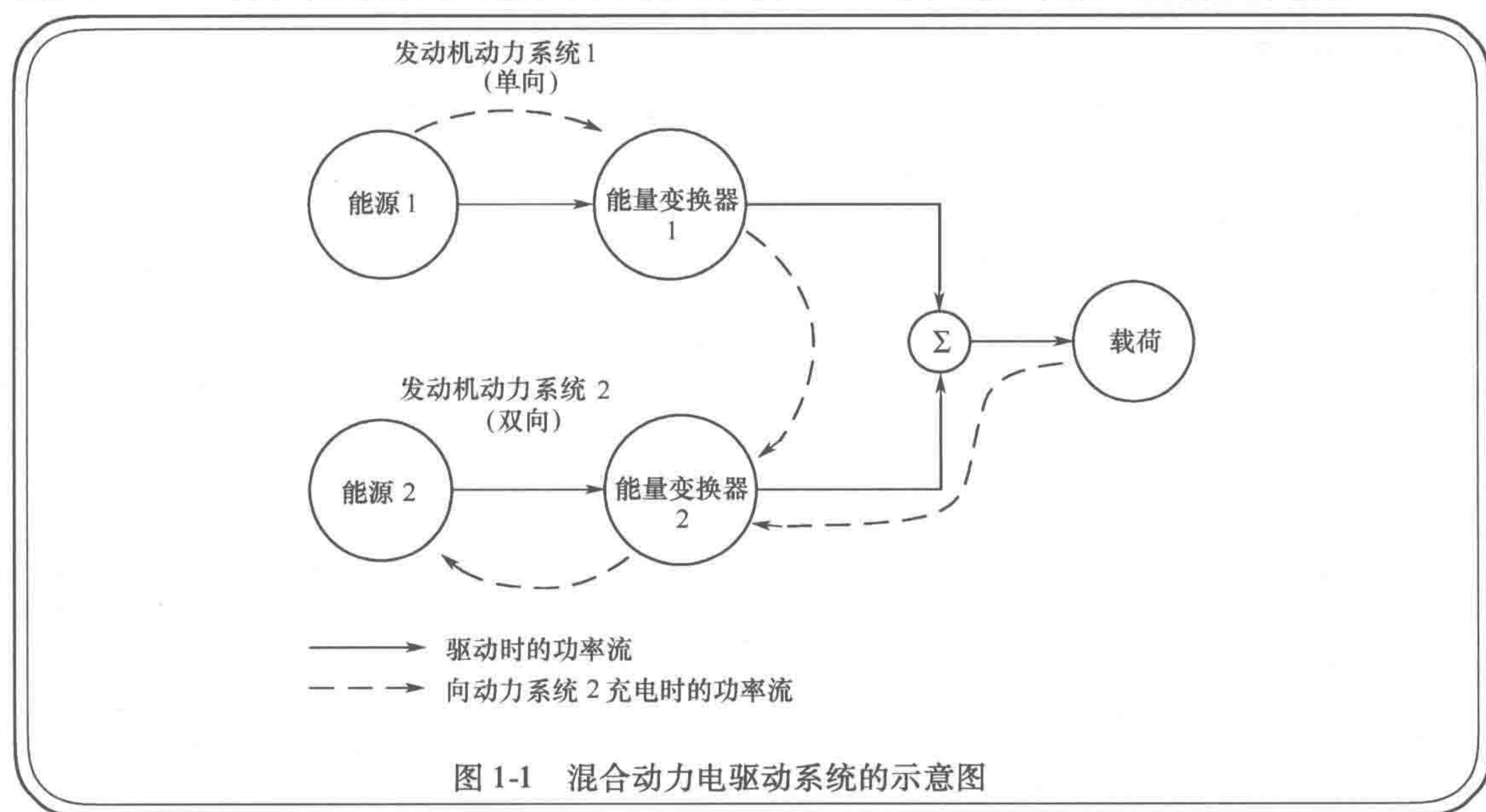


图 1-1 混合动力电驱动系统的示意图

混合动力电驱动系统通过被采用的动力系统向载荷供应动力。在汽油（柴油）机（发



动机动力系统1)与蓄电池-电动机(电力系统2)混合集成的情况下,与载荷需求相配合的有两种动力系统运作的有效模式共有九种,分别如下:

模式①,发动机动力系统1单独向载荷提供动力

这一模式是单发动机驱动模式,可应用于蓄电池组几乎完全放电而发动机没有剩余功率给蓄电池组充电的情况,或应用于蓄电池组已完全充电而发动机能供应足够的动力去满足车辆动力需求的情况。

模式②,电力系统2单独向载荷提供动力

这一模式是纯粹的电驱动模式,其中发动机是关闭的。这一模式可应用于发动机不能有效地运行的场合,如极低速状态,或在严禁排放的区域内行驶的场合。

模式③,发动机动力系统1和电力系统2都向载荷提供动力

这一模式是混合驱动模式,应用于需要大量动力供给的情况,如急剧加速或爬陡坡。

模式④,电力系统2由载荷获得功率(再生制动)

这一模式是再生制动模式,由此借助电动机运行在发电机状态,车辆的动能或位能得以回收。回收的能量储存于蓄电池组,并在以后重复利用。

模式⑤,电力系统2从发动机动力系统1中获得功率

这一模式是发动机向蓄电池组充电的模式,这时车辆处于停止、惯性滑行或小坡度下坡运行状态,没有动力应用于载荷或来自载荷。

模式⑥,电力系统2从发动机动力系统1和载荷中同时获得功率

这一模式是同时存在再生制动和内燃机向蓄电池组充电的模式。

模式⑦,发动机动力系统1同时向载荷和电力系统2提供动力

这一模式是发动机驱动车辆同时向蓄电池组充电的模式。

模式⑧,发动机动力系统1向电力系统2提供功率,同时电力系统2向载荷提供动力

这一模式是发动机向蓄电池组充电,同时蓄电池组向载荷供应功率的模式。

模式⑨,发动机动力系统1向载荷提供动力,同时载荷向电力系统2提供功率

这一模式是借助车辆的质量,来自热机的动力流进入蓄电池组。

在混合动力汽车中,稳定的功率可由内燃机、斯特林发动机或燃料电池等提供。动态功率取自动态功率源,因此所采用的内燃机或燃料电池比单动力系统设计中的内燃机或燃料电池要小得多,这样便可使其稳定地运行在最佳效率区。动态功率可由配置蓄电池组的电动机、超级电容器组或飞轮组(机械蓄电池组)提供,或可由它们组合配置提供。

二、混合动力系统的主要部件

1. 发动机

内燃机是现今应用于汽车的最主要动力装置。在可预见的将来,它仍会是主要的汽车动力装置。在混合动力汽车中,内燃机也将是主要电源的第一选择。然而,混合动力汽车的工作与传统汽车有所不同,混合动力汽车中的发动机需较长时间以高功率运转,而不需频繁改变功率输出。到目前为止,专为混合动力汽车设计的发动机系统还没有得到充分开发。

混合动力汽车可以广泛地采用四冲程内燃机(包括汽油机和柴油机)、二冲程内燃机(包括汽油机和柴油机)、转子发动机、燃气轮机和斯特林发动机等。一般转子发动机和燃



气轮机的燃烧效率比较高，排放也比较洁净，采用不同的发动机就可以组成不同的混合动力系统。

2. 电动机

混合动力汽车的电动机作为辅助动力，可降低燃料的消耗并实现低污染，或在纯电动驱动模式时实现“零污染”。混合动力汽车电动机的工作条件及工作模式与传统电动机相比有很大区别，这些区别使工业电动机不适合在汽车上使用。混合动力汽车可以采用直流电动机、交流感应电动机、永磁电动机和开关磁阻电动机等。随着混合动力汽车的发展，直流电动机已经很少采用，而多采用感应电动机和永磁电动机，开关磁阻电动机的应用也已得到重视，还可以特种电动机作为混合动力汽车的驱动电动机。采用不同的电动机就可以组成不同的混合动力系统。

3. 蓄电池

混合动力汽车具有两个蓄电池系统：一个是12V直流蓄电池系统，它主要为车上常规的用电器提供电压；另一个是电压更高的直流蓄电池系统，它经过DC-AC转换器将直流电转换为交流电后提供给电机。同时，它还能存储电机输出的经AC-DC转换器转换后的直流电。高压直流蓄电池系统储电量和电压随混合动力系统的要求变化。混合动力汽车的高压直流蓄电池从36V到600V以上不等，所有混合动力系统设计采用串联连接的蓄电池都是为了获取所需的直流电源电压。

4. 混合动力控制系统

混合动力汽车上普遍采用以计算机为核心的自动控制技术，智能控制系统包括自适应控制技术、模糊控制技术（Fuzzy）、专家控制系统（Expert System）、神经网络控制系统（Neural Networks）等，它逐渐应用到混合动力汽车中，使混合动力汽车更加安全、节能、环保和舒适。

（1）混合动力汽车控制系统的功能

① 使混合动力汽车的动力性能达到或接近现代内燃机汽车的水平，逐步实现混合动力汽车的实用化。

② 最大程度地发挥了电动机驱动的辅助作用，使混合动力汽车的燃油消耗量降低，实现发动机的节能化。目前，混合动力汽车的燃油消耗量已达到3L/100km左右的水平。

③ 在环保方面，实现“超低污染”的环保标准。

④ 在混合动力汽车上实现对发动机驱动系统和电动机驱动系统的双重控制。发动机与电动机的动力系统应进行最有效组合，实现最佳匹配和高效利用，能够回收再生制动能量，延长车辆的行驶里程，改进混合动力汽车的环保性能。

⑤ 在操纵装置和操纵方法上继承或沿用内燃机汽车主要的操纵装置和操纵方法，适应驾驶人的操作习惯，使操作简单化、规范化。

⑥ 在整车控制系统中，采用全自动、机电一体化控制系统，达到安全、可靠、节能、环保和控制灵活的目的。

混合动力汽车一般是传统内燃机汽车的替代和延伸，沿用了内燃机汽车的大部分传动系统，保留了内燃机汽车的操纵装置，包括加速踏板、制动踏板、离合器、自动离合器、变速器的操纵装置等。由这些操纵装置发出控制信号，通过中央控制器和各种控制模块，向内燃机的驱动系统或电动机驱动系统发出单独驱动指令或混合驱动指令，以获得不同的驱动模



式。按照驾驶人的意图,实现混合动力汽车的起动、行驶、加速、爬坡、减速和制动时驱动模式转换的控制。

(2) 混合动力汽车控制系统的组成

- ① 控制系统,由操纵装置、中央控制器和各种控制模块组成。
- ② 发动机及其驱动系统,以及发动机和发动机驱动系统的控制系统。
- ③ 电动机及其驱动系统,以及电动机和电动机驱动系统的控制系统。
- ④ 信号反馈及检测装置,包括各电信号检测装置、显示装置和自诊断系统等。

三、混合动力汽车的优缺点

1. 混合动力汽车的优点

① 混合动力汽车按平均需用的功率来确定发动机的最大功率,此时发动机处于油耗低、污染少的最优工况下工作。需要大功率但发动机功率不足时,由蓄电池来补充;负荷少时,富余的功率可发电给蓄电池充电,由于发动机可持续工作,蓄电池又可以不断得到充电,故其行程和传统内燃机汽车一样。

② 因为有蓄电池,所以可以方便地回收制动时、下坡时、怠速时的能量。

③ 在繁华市区,可关闭发动机,由蓄电池单独驱动,实现“零”排放。

④ 发动机可以方便地解决制冷、取暖、除霜耗能大等纯电动汽车遇到的难题。

⑤ 可以利用现有的加油站加油,不必再投资。

⑥ 可让蓄电池保持在良好的工作状态,不发生充电及过放电,延长其使用寿命,降低成本。

2. 混合动力汽车的缺点

混合动力汽车有两套动力源,各有管理控制系统,结构更复杂,技术更难,成本更高。

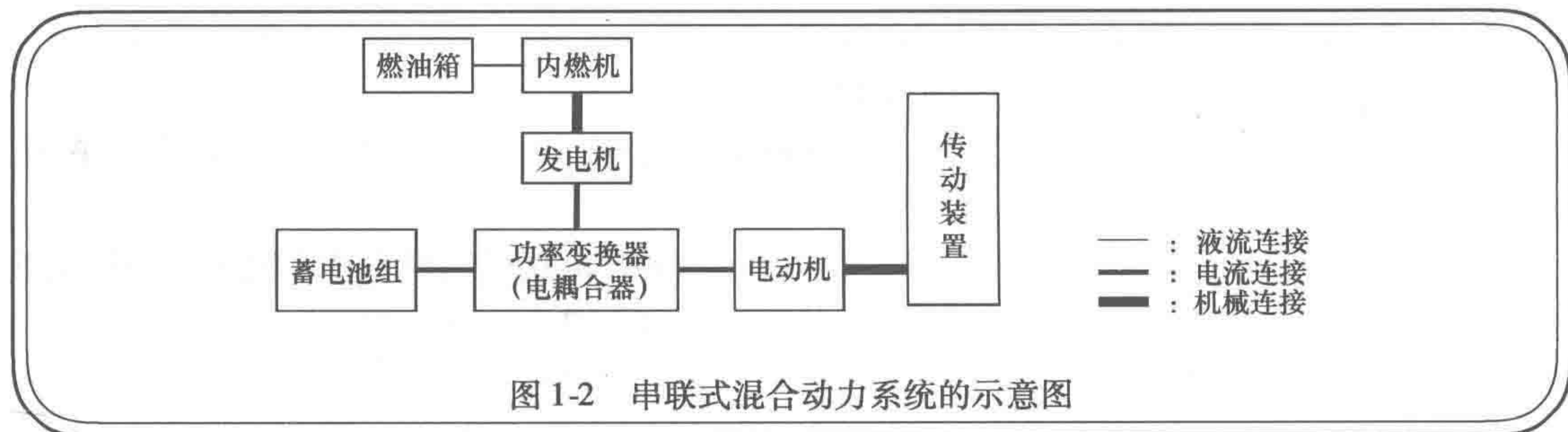
第二节 混合动力系统的类型

一、按结构来分类

目前,世界各国研究开发的混合动力汽车有不同的结构形式,根据其动力传动系统的配置和组合方式不同,分为串联式、并联式、混联式和复合式四种形式。

1. 串联式混合动力系统

图 1-2 所示为串联式混合动力系统的示意图。串联式混合动力系统的关键特征是在功率





变换器中，两个电功率被加在一起。该功率变换器起电功率耦合器的作用，控制从蓄电池组和发电机到电动机的功率流，或反向控制从电动机到蓄电池组的功率流。燃油箱、发动机和发电机组成基本能源，而蓄电池组则起能量缓冲器的作用。

2. 并联式混合动力系统

图 1-3 所示为并联式混合动力系统的示意图。它的关键特征是在机械耦合器中，两个机械功率被加在一起。发动机是基本能源设备，而蓄电池组和电动机驱动装置则组成能量缓冲器。此时，功率流仅受动力装置——发动机和电动机控制。

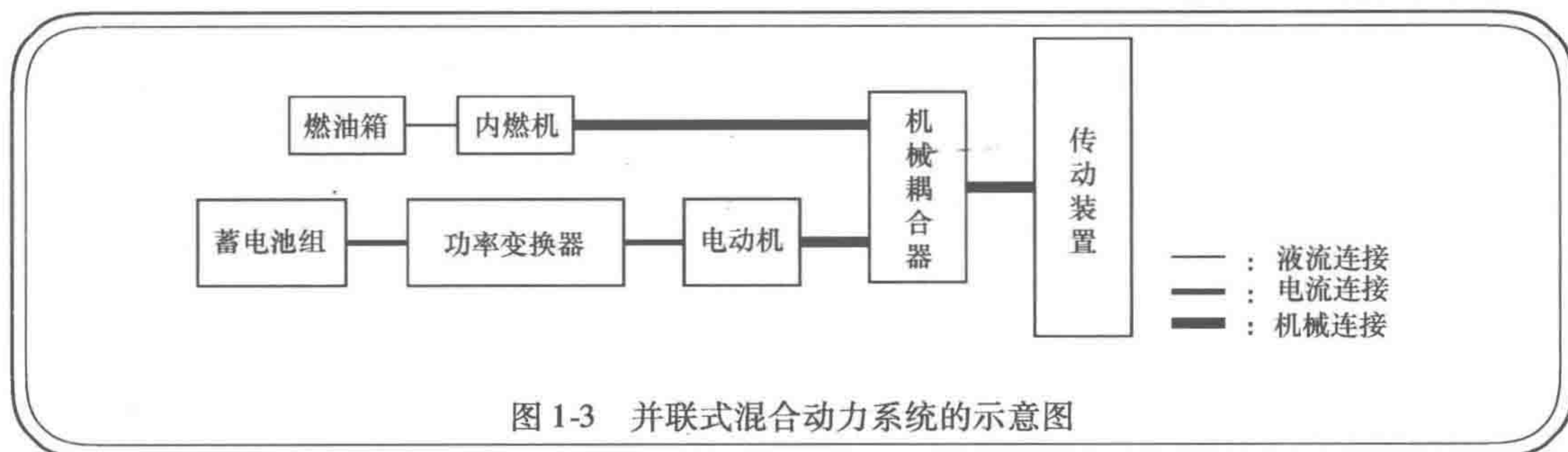


图 1-3 并联式混合动力系统的示意图

3. 混联式混合动力系统

图 1-4 所示为混联式混合动力系统的示意图。这一构造的明显特征是使用两个功率耦合器——机械耦合器和电气耦合器。实际上，这一构造是串联式和并联式结构的组合，它具有两者的主要特性，相比于串联式或并联式的单一结构，还拥有更多的运行模式。从另一方面来说，它的结构相对更复杂，且成本较高。

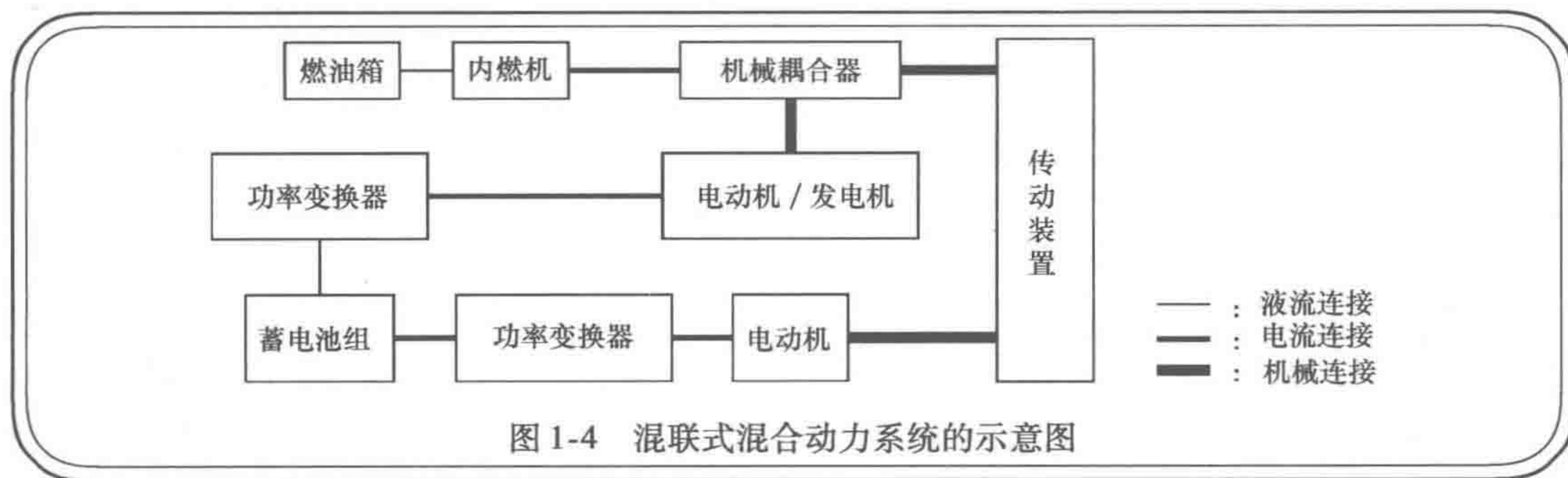
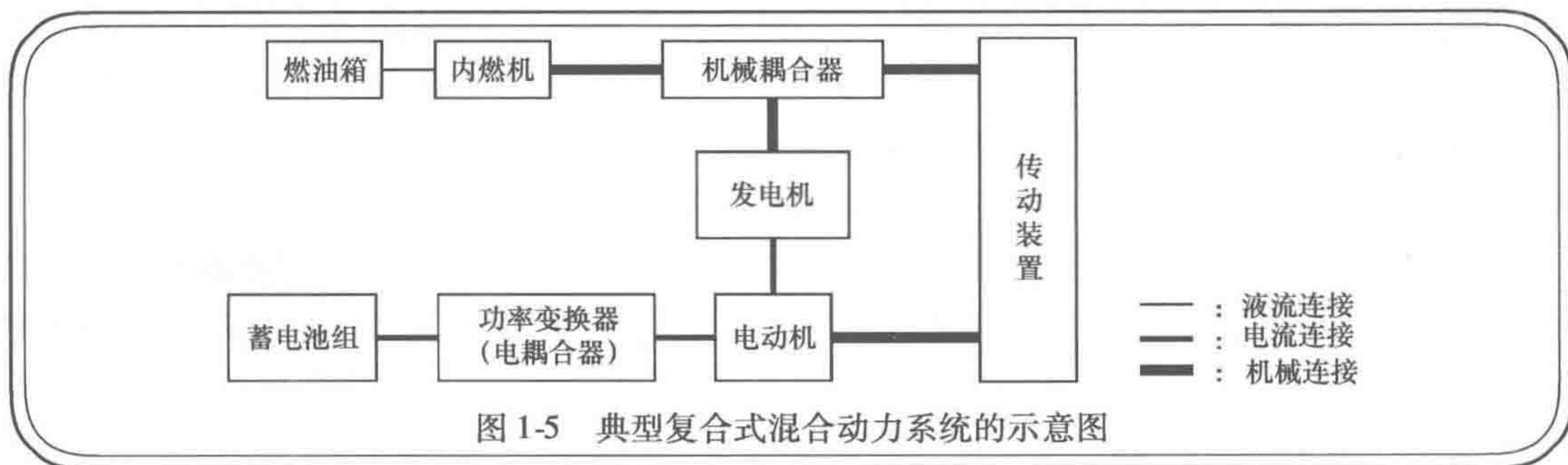


图 1-4 混联式混合动力系统的示意图

4. 复合式混合动力系统

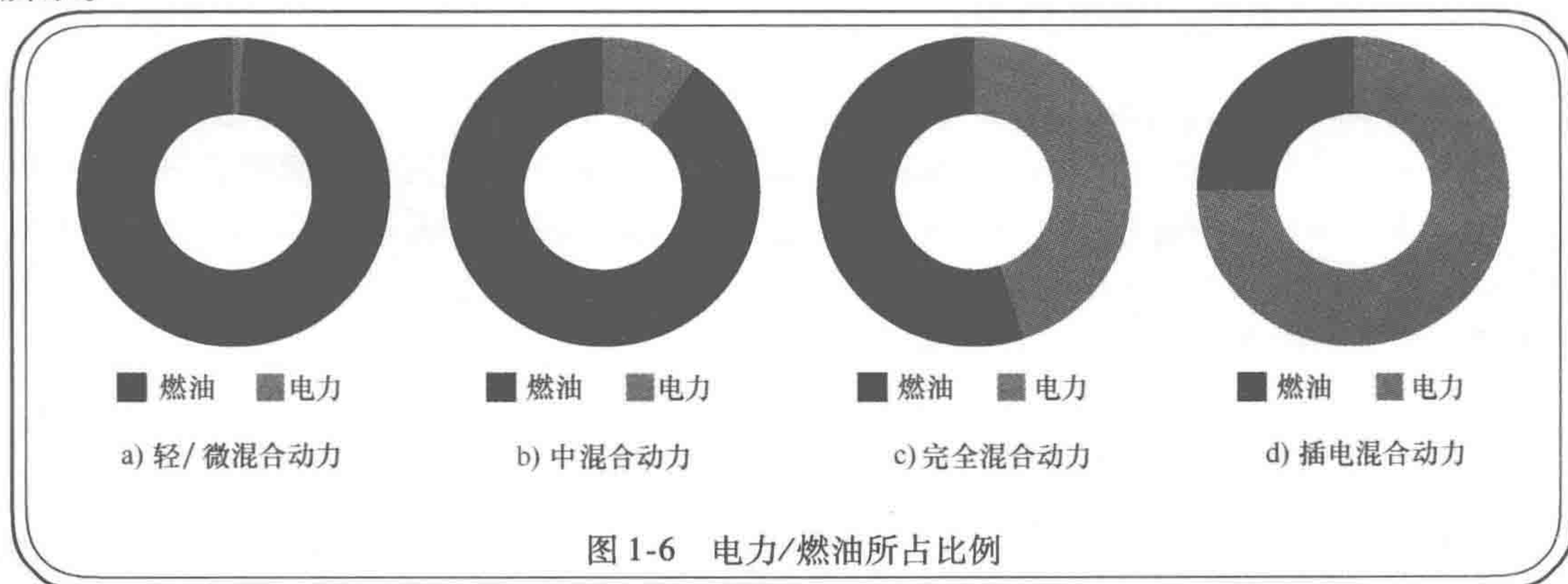
图 1-5 所示为典型复合式混合动力系统的示意图，它具有与混联式相似的结构。两者唯一的差异在于电耦合功能由功率变换器转移到蓄电池组，并且在电动机/发电机组和蓄电池组之间加入了一个功率变换器。

上述分类在科学意义上并非十分清晰，且可能混淆。实际上，混合动力汽车中，在驱动系统内存在着两类能量流：一类是机械能量流，另一类是电能量流。在功率交汇点处，始终以同一类功率形式，即电气的或机械的功率形式，而不是呈现两个功率的相加或将一个功率分解为两个功率。这样，或可由功率耦合或解耦特性来更精确地定义混合动力汽车电力驱动系统的构造，例如电耦合驱动系统、机械耦合驱动系统以及机械-电气耦合驱动系统。



二、按混合程度来分类

根据混合动力系统中电机的输出功率在整个系统输出功率中所占的比重，也就是常说的混合度的不同，混合动力系统还可以分为微混合动力系统、轻混合动力系统、中混合动力系统、完全混合动力系统和插电混合动力系统五种类型，它们的电力/燃油所占比例如图 1-6 所示。



1. 微混合动力系统（BSG 系统）

微混合动力系统用传动带驱动起动机（Belt-alternator Starter Generator, BSG）取代了传统内燃机的起动机（12V），这种起动机实际上是发电机-起动机（Stop-Start）一体式电机，用来控制发动机的起动和停止，从而取消了发动机的怠速，降低了油耗和排放。从严格意义上说，微混合动力系统的汽车不属于真正的混合动力汽车，因为它的电机并没有为汽车行驶提供持续动力。在微混合动力系统里，电机的电压通常有两种：12V 和 42V。其中，42V 主要用于柴油混合动力系统。微混合动力系统的代表车型是 PSA 公司的混合动力版 C3 和丰田公司的混合动力版 Vitz。

2. 轻混合动力系统（ISG 系统）

轻混合动力系统采用了电动机-发电机一体化系统（Integrated Starter Generator, ISG）。与微混合动力系统相比，轻混合动力系统除了能够实现用发电机控制发动机的起动和停止外，还能够实现：

- ① 在减速和制动工况下，对部分能量进行回收。
- ② 在行驶过程中，发动机等速运转，发动机产生的能量可以在车轮的驱动需求和发电



机的充电需求之间进行调节。轻混合动力系统的混合度一般在 20% 以下。轻混合动力系统的代表车型是通用汽车公司的混合动力轻型货车。

3. 中混合动力系统

中混合动力系统同样采用了 ISG 系统，但与轻混合动力系统不同的是它采用了高压电机。此外，中混合动力系统还增加了一个功能：在车辆处于加速或者大负荷工况时，电动机能够辅助驱动车轮，补充发动机本身动力输出的不足，从而提高了整车的性能。这种系统的混合程度可以达到 30% 左右，技术已经成熟，应用比较广泛。中混合动力系统的代表车型是本田公司的混合动力版 Insight、雅阁和思域等。

4. 完全混合动力系统

完全混合动力系统采用了 272 ~ 650V 的高压起动机，混合程度更高。与中混合动力系统相比，完全混合动力系统的混合度可达 50% 以上。未来，完全混合动力系统将逐渐成为混合动力技术的主要发展方向。完全混合动力系统的代表车型是丰田公司的普锐斯和 Estima。

5. 插电混合动力系统

插电混合动力系统是一种将纯电动系统和现有混合动力系统结合的产物。车辆带有外接插入式充电系统，因此可以单独利用电动机行驶较长距离，将内燃机的工作比例进一步缩小，提供更好的节油比例，但会消耗一定电能。同时，还解决了目前纯电动汽车续驶里程短的问题。但随着电池技术的发展，插电式混合动力系统仅仅是一种过渡方案。

以上五种不同的混合方式，都能在一定程度上降低油耗和排放。各大汽车厂商经过多年研发投入、试验总结和商业应用，形成了各具特色的混合动力技术路线。

第三节 混合动力电驱动系统

一、混合动力汽车电驱动系统概述

1. 混合动力汽车电驱动系统的特点

混合动力汽车以电驱动作为辅助动力，来降低燃料消耗，实现低污染，或在纯电动驱动模式时实现零污染。相较于传统工业电动机而言，混合动力汽车使用的电驱动系统一般有以下特点：

① 混合动力汽车使用的电机的响应性能要求更高。混合动力汽车上的电机往往要求频繁起停、频繁加减速以及频繁切换工作模式（作为电动机使用时驱动汽车，作为发电机使用时实现能量回收及发电）。

② 混合动力汽车电驱动系统具有体积小、质量轻、功率密度和工作效率高等性能，这是因为汽车内部空间有限。

③ 相较于传统电动机，混合动力汽车的电机具有更高的可靠性、抗振性和抗干扰性。混合动力汽车电驱动系统的工作环境更为恶劣，干扰更大。

④ 传统电动机一般工作在额定功率附近，而混合动力汽车电机的工作范围相对较宽，且由于混合动力汽车电机工作模式的特殊性（工况经常处于动态变化中），额定功率这个参数对于混合动力系统中的电机而言没有多大意义，因此对其额定功率的要求并不严格。而在



高效工作区间，这一参数则更为实际和重要。

⑤ 在供电方式上，传统电动机由常规标准电源供电，而混合动力系统中的电机所使用的电能来源于蓄电池，且由功率变换器直接供给。另外电机的使用电压及形式并不确定，从减少功率损耗及降低电机逆变器成本的角度来看，一般倾向于使用较高的电压。

2. 混合动力汽车驱动电动机的种类

传统电动机的种类很多，用途广泛，功率的覆盖面非常大。相对而言，混合动力汽车所采用的电动机种类较少，功率覆盖面也较小。

早期的混合动力汽车采用控制性能好且成本较低的直流电动机。随着电子技术、机械制造技术和自动控制技术的发展，直流电动机逐步被性能更加优越的交流电动机、永磁电动机和开关磁阻电动机取代。当今混合动力汽车所采用的电动机种类如图 1-7 所示。

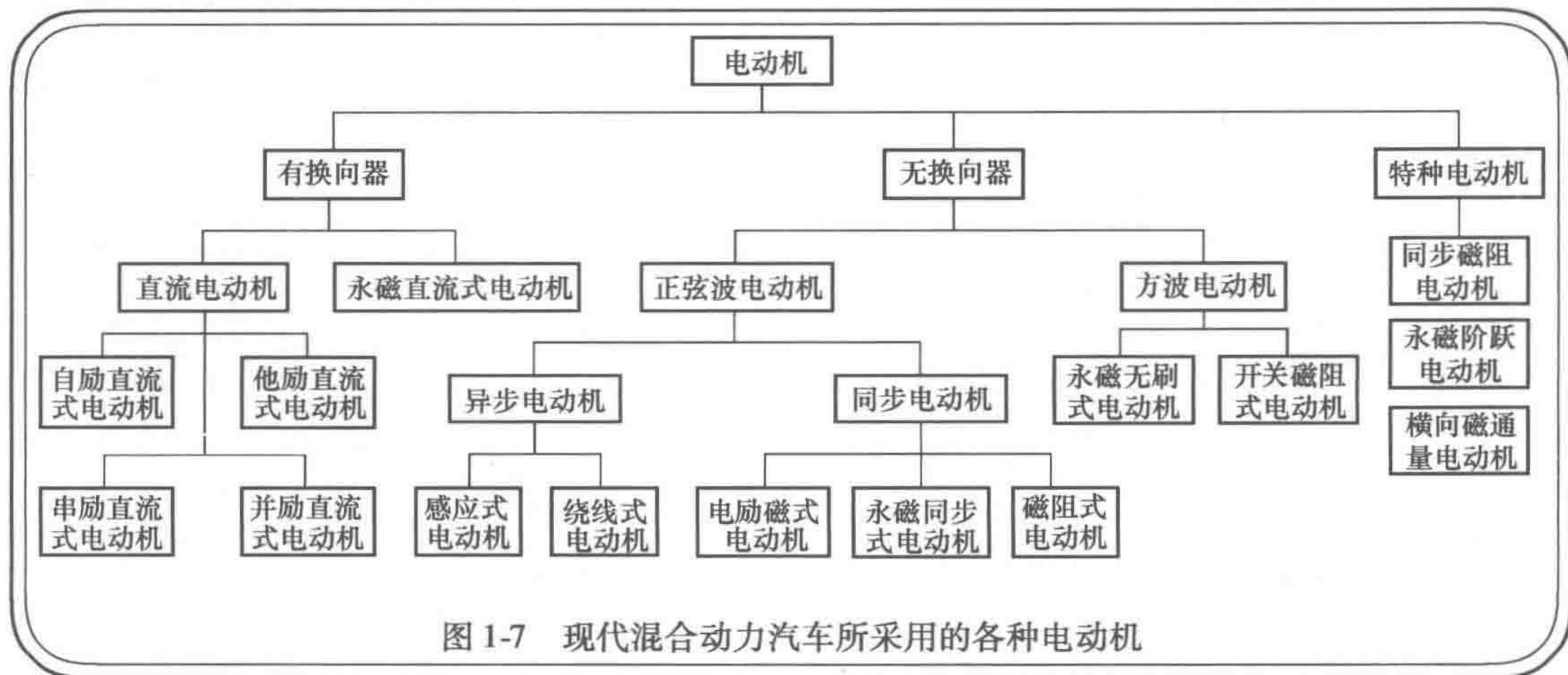


图 1-7 现代混合动力汽车所采用的各种电动机

3. 混合动力汽车对电动机性能的基本要求

混合动力汽车驱动电动机的主要参数为：电动机类型、额定电压、机械特性、效率、尺寸参数、质量参数、可靠性和成本等。表 1-1 所示为现今混合动力汽车所采用的各种电动机的基本性能比较。此外，电子控制系统和驱动系统也会影响驱动电动机的性能。

表 1-1 各种电动机的基本性能比较

项目	直流电动机	感应式电动机	永磁式电动机	开关磁阻式电动机
功率密度	低	中	高	较高
过载能力 (%)	200	300 ~ 500	300	300 ~ 500
峰值效率 (%)	85 ~ 89	94 ~ 95	95 ~ 97	90
负荷效率 (%)	80 ~ 87	90 ~ 92	97 ~ 85	78 ~ 86
功率因数 (%)	—	82 ~ 85	90 ~ 93	60 ~ 65
恒功率区	—	1:5	1:2.25	1:3
转速范围/ (r/min)	4000 ~ 6000	12000 ~ 20000	4000 ~ 100000	> 15000
可靠性	一般	好	优良	好
结构的坚固性	差	好	一般	优良
电动机外形	大	中	小	小
电动机质量	重	中	轻	轻
控制操作性能	最好	好	好	好
控制器成本	低	高	高	一般



① 在允许范围内,尽可能采用高电压。这样可以减小电动机和导线等的尺寸,特别是可以降低逆变器的造价。

② 高转速。电动汽车所采用的感应式电动机的转速可达 $8000 \sim 12000\text{r/min}$ 。高转速电动机的体积较小,质量较轻,有利于降低混合动力汽车的整车装备质量。

③ 质量轻。电动机采用铝合金外壳,以降低质量,各种控制装置和冷却系统的质量等也要求尽可能轻。

④ 电动机应具有较大的起动转矩和较大范围的调速性能。大的起动转矩和大范围的调速性能使混合动力汽车具有良好的起动性能和加速性能,以获得起动、加速、行驶、减速、制动等工况所需的功率与转矩。

⑤ 电动机具有自动调速功能。装备自动调速功能电动机的车辆可以减轻驾驶人的操纵强度,提高驾驶的舒适性,且能达到与内燃机汽车加速踏板同样的控制响应。

⑥ 电驱动系统应效率高、损耗低,并在车辆减速时实现再生制动能量回收。再生制动回收的能量一般可达总能量的 $10\% \sim 15\%$ 。

⑦ 电动机的工作电压可达 300V 以上,其电气系统和控制系统的安全性都必须符合国家(或国际)有关车辆电气控制的安全性能的标准和规定,装备有高压保护设备。

除上述要求外,电驱动系统还要可靠性好、耐温和耐潮性能强、运行时噪声低、能够在较恶劣的环境下长时间工作、结构简单、适合大批量生产、使用维修方便、价格便宜等。

二、直流电动机

1. 直流电动机的种类和基本性能

在混合动力汽车上最常见的直流电动机有串励直流电动机和他励直流电动机两种。

(1) 串励直流电动机

串励直流电动机的励磁电流和电枢电流相等,能获得每单位电流的最高转矩,起动转矩大,有较好的起动特性以及较宽的恒功率调速范围,有利于提高混合动力汽车的动力性能。

(2) 他励直流电动机

他励直流电动机能够分别控制励磁电流和电枢电流,以实现对其控制。他励直流电动机具有线性特性和稳定输出特性,可以扩大调速范围,实现在减速和制动时的再生制动能量回收。

2. 直流电动机的特点

直流电动机的磁场和电枢可以分别控制,因此控制起来比较容易,而且控制性能较好。直流电动机的容量范围很广,可以根据所需的转矩和最高转速来选用所需要的容量。直流电动机的制造技术和控制技术都较成熟,驱动系统价格较便宜。

直流电动机上有电刷、换向器等接触零件,因此容易磨损。高速旋转时,电刷与换向器之间会产生火花,严重时形成“环火”,限制了直流电动机转速的提高。

直流电动机的优点是具有优良的电磁转矩控制特性,调速比较方便,控制装置简单、价廉。缺点是结构较复杂、效率较低、可靠性较差、重量大、体积大、价格高,需要经常维护和修理。