

刘春晖 张炜炜 主编

混合动力汽车

HUNHE DONGLI QICHE JIEGOU YU JIANXIU

结构与检修



化学工业出版社

混合动力汽车

HUNHE DONGLI QICHE JIEGOU YU JIANXIU

结构与检修

刘春晖 张炜炜 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从实际角度出发,系统、全面地介绍混合动力系统的组成、混合动力汽车的结构原理及典型车型混合动力系统的维修。全书共分五章,内容主要包括混合动力汽车结构原理以及丰田普锐斯、别克君越、奥迪 Q5 和宝马 X6 四种典型车型的混合动力系统结构与检修。

本书内容全面,翔实具体,实用性强,浅显易懂,适合汽车维修电工、汽车机电维修人员、汽车维修一线管理人员使用,也可供大专院校汽车运用与维修、汽车检测与维修技术、汽车电子技术、汽车维修专业的师生学习、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

混合动力汽车结构与检修/刘春晖,张炜炜主编.—北京:
化学工业出版社,2017.3

ISBN 978-7-122-28783-0

I. ①混… II. ①刘…②张… III. ①混合动力汽车-结构②混合动力汽车-车辆修理 IV. ①U469.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 321565 号

责任编辑:韩亚南 曾越

文字编辑:陈喆

责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张15 字数316千字 2017年4月北京第1版第1次印刷

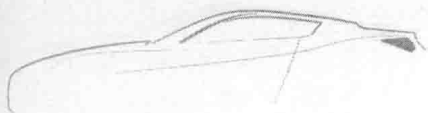
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:56.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

随着世界各国环境保护的措施越来越严格，混合动力车辆由于其节能、低排放等特点成为汽车研究与开发的一个重点，并已经开始商业化。所谓混合动力汽车是指同时装备两种动力来源——热动力源（传统的汽油机或柴油机）与电力源（电池与电动机）的汽车。通过在混合动力汽车上使用电动机，使得动力系统可以按照整车的实际运行工况要求灵活调控，保证发动机在综合性能最佳的区域内工作，从而降低油耗与排放，达到环保的功效。

目前国内的汽车维修类图书品种非常丰富，基本能够满足广大一线汽车维修人员的需求，但关于混合动力汽车维修方面的图书却少之又少，仅有的一些多数还是关于混合动力理论研究的，这类书籍多适用于各级各类高等院校作为教材，对于维修人员来说存在内容抽象、理论深厚、难以读懂的特点，使他们难以在相关车型混合动力系统的维修方面得到提高。

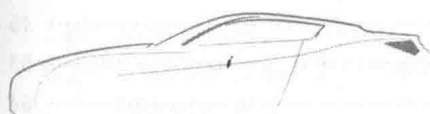
为使广大汽车维修人员掌握混合动力汽车维修的新技术，编者联合几位4S店的一线维修人员结合相关的基础理论知识编写本书，以期对广大的一线汽车维修人员有所帮助。

本书从实际角度出发，系统、全面地介绍混合动力系统的组成、混合动力汽车的结构原理及典型车型混合动力系统的维修。全书共分五章，内容主要包括混合动力汽车结构原理、丰田普锐斯混合动力系统结构与检修、别克君越混合动力系统结构与检修、奥迪Q5混合动力系统结构与检修和宝马X6混合动力系统结构与检修。

本书由刘春晖、张炜炜主编，参加本书编写工作的还有杜祥、张文、孙清明、王学军、刘光晓、孙长勇、徐长钊。

本书在编写过程中参考了国内外的汽车技术资料、维修资料和相关书籍，在此一并表示感谢！由于水平所限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

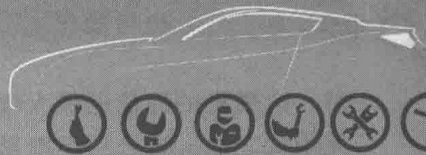


第一章 混合动力汽车结构原理	1
第一节 混合动力汽车概述	1
一、混合动力汽车的发展	1
二、混合动力汽车简介	2
三、混合动力汽车的类型	3
四、混合动力电动汽车的类型	4
第二节 混合动力电动汽车构造	6
一、串联式混合动力汽车	6
二、并联式混合动力汽车	7
三、混联式混合动力汽车	11
第三节 混合动力汽车的电能储存装置	15
一、混合动力汽车电能储存装置的种类	15
二、混合动力汽车蓄电池的作用和要求	15
三、蓄电池主要性能指标	16
四、铅酸蓄电池	18
五、镍-镉 (Ni-Cd) 电池	19
六、镍-氢 (Ni-MH) 电池	20
七、锂离子电池	21
八、超级电容	23
九、飞轮电池	24
十、蓄电池管理系统	25
第四节 混合动力汽车的电动机	28
一、混合动力汽车的电动机特点、类型及要求	28
二、直流电动机	30
三、交流电动机	31
四、永磁电动机	32
五、开关磁阻电动机	35
第五节 可外接充电式混合动力汽车	36
一、PHEV 的优势	36
二、PHEV 的电池组工作模式	36
三、PHEV 的工作原理	37
四、PHEV 的应用	38
第二章 丰田普锐斯混合动力系统结构与检修	41
第一节 普锐斯混合动力汽车的技术特点	41
第二节 丰田混合动力系统的组成原理	45

一、丰田混合动力系统的组成	45
二、丰田混合动力系统工作状态与原理	53
第三节 丰田混合动力控制系统	64
一、混合动力汽车控制系统的组成	64
二、混合动力汽车控制系统主要功能	67
第四节 普锐斯混合动力系统主要部件	76
一、普锐斯混合动力汽车的蓄电池	76
二、普锐斯混合动力汽车电动机/发电机	79
三、普锐斯混合动力汽车的底盘	80
第五节 普锐斯混合动力系统的发动机	82
一、概述	82
二、冷却系统	83
三、进气和排气系统	84
四、燃油系统	84
五、发动机控制系统	86
第六节 普锐斯混合动力系统维修	92
一、混合动力控制系统维修	92
二、混合动力电池系统维修	101
第三章 别克君越混合动力系统结构与检修	105
第一节 BAS 混合动力系统概述	105
一、BAS 混合动力系统	105
二、通用混合动力系统的分类	105
三、BAS 混合动力系统操作	106
四、BAS 混合动力系统的组成	106
第二节 BAS 混合动力控制系统	107
一、电动机/发电机总成 (MGU)	107
二、驱动皮带	109
三、起动机/发电机控制模块	111
四、混合动力镍-氢电池组 (Ni-MH)	114
第三节 混合动力辅助系统	118
一、变速器控制系统	118
二、12V 蓄电池	121
三、仪表盘	122
四、制动控制系统	123
五、空调控制系统	126
六、电子液压式动力转向系统	127
第四节 BAS 混合动力系统工作模式	129
一、自动停止模式 (Auto Stop Mode)	129
二、自动停止模式下的重新启动/加速模式	130
三、智能充电模式	131

四、减速-停止模式	131
第五节 BAS 混合动力系统的维修	131
一、安全注意事项	131
二、混合动力电池组断开程序	132
三、电动机/发电机的检修	132
四、电池组维修注意事项	135
第四章 奥迪 Q5 混合动力系统结构与检修	138
第一节 混合动力系统概述	138
第二节 奥迪 Q5 混合动力技术原理	139
一、奥迪 Q5 混合动力车的识别标记和警示符号	139
二、混合动力技术的基本原理	140
第三节 混合动力系统的发动机	145
一、概述	145
二、冷却液循环和温度管理	146
三、发动机控制单元	148
第四节 混合动力系统的底盘	148
一、带有混合动力模块的 8 挡自动变速器	148
二、电动机械式转向系统	149
三、ESP 系统	150
第五节 混合动力电气系统	151
一、混合动力电气系统部件	151
二、安全理念	154
三、蓄电池冷却	156
四、电驱动装置的功率和控制电子系统 JX1	157
五、混合动力系统电机	158
六、混合动力空调装置	160
七、高压系统	161
八、12V 车载供电网	164
第六节 奥迪 Q5 混合动力车系统管理	166
一、奥迪 Q5 混合动力车的系统功能和状态识别	166
二、混合动力模式时的显示和操纵单元	169
第七节 混合动力系统的维修	174
一、专用工具	174
二、车间设备	174
三、混合动力检测适配接头 VAS 6558/1A	175
第五章 宝马 X6 混合动力系统结构与检修	177
第一节 宝马 X6 混合动力系统概述	177
一、概述	177
二、双模式主动变速器	177
三、镍-氢蓄电池	179

四、行驶情况	179
第二节 发动机和主动变速器	181
一、改进型 N63 发动机	181
二、主动变速器	183
第三节 混合动力制动系统	193
一、概述	193
二、混合动力制动系统的主要组成	194
三、混合动力制动系统功能	195
第四节 供电	202
一、车载网络的组成	202
二、12V 蓄电池	203
三、电路断路器	204
四、附加熔丝支架	205
五、极性接错保护	205
六、能量管理系统 (14V 车载网络)	206
第五节 高电压蓄电池单元	207
一、概述	207
二、功能	212
三、维修及其注意事项	217
第六节 供电电子装置	221
一、概述	221
二、APM	222
三、供电电控箱 PEB	225
四、供电配电盒 PDB	228
五、高电压导线	228
参考文献	231



第一章

混合动力汽车结构原理

第一节 混合动力汽车概述

一、混合动力汽车的发展

提到“混合动力汽车”，往往被认为是汽车领域的革新，是汽车技术的重大突破，是为汽车的发展注入了新的活力的“新事物”。但事实上，虽然混合动力汽车是“现代工程的奇迹”，但其基本概念可追溯到 100 多年前汽车发明之初。19 世纪末期，道路上的大部分汽车为纯电动的，通过电池供电，由电动机驱动车辆行驶。当时的电动汽车的模型如图 1-1 所示。但人们希望能够驾驶汽车行驶更远的距离。

在纯电动汽车成为“道路之王”的同时，一种新的汽车，即由内燃机驱动的汽车逐渐崭露头角，其实物如图 1-2 所示。这些新的内燃机驱动的汽车虽然能比电动汽车行驶更远的距离，但在当时却不如电动汽车应用广泛，因为 1900 年时汽油比电更难以获取。



图 1-1 早期的美国电动汽车模型

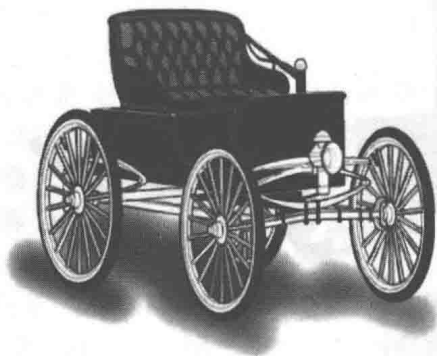


图 1-2 带汽油内燃机 (ICE) 的杜耶汽车

1905 年一位美国工程师 (H. Piper) 第一个在美国提交了混合动力电动汽车设计专利申请。他的设想是通过将强大的电动机和小型的汽油机驱动相结合，同时获得汽油机驱动可提供的驾驶距离以及电动机的优越性能。但是几年后他的专利获批

时，内燃机的性能已经大幅提升，且汽油供应量加大，导致他的混合动力设计一时无用武之地。这之后纯电动汽车和混合动力电动汽车继续同步发展，直到 20 世纪 20 年代中期，日益强大和实用的内燃机汽车数量已超过纯电动和混合动力电动汽车数百倍。

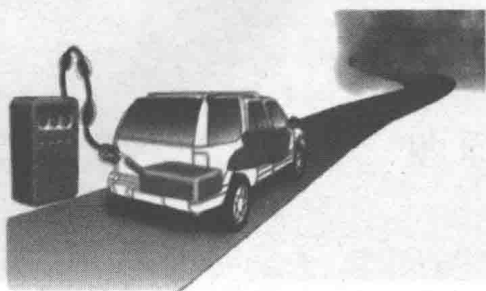


图 1-3 污染问题和高油价困扰着内燃机驱动汽车的发展

1920 年至今，内燃机驱动汽车一直主导着整个运输业，但内燃机驱动的车辆污染与高油价一直困扰着车辆的进一步发展（见图 1-3）。在 20 世纪 80 年代，出现了高动力/高速发动机控制器。这些高效的开关晶体管（称为 IGBT）使得混合动力与电动汽车的现代化发展成为可能。

为可能。

通用公司是首个研发纯电动汽车的公司之一，1996 年通用公司（GM）将纯电动汽车 EVI 以及电动 S-10 皮卡推向了市场。虽然被众多人士认为是迄今为止发明的最先进的纯电动汽车，EVI 和 S-10 仍未能克服所有纯电动汽车具有的局限性，包括受限于车载电池容量，行驶距离有限，每行驶几个小时必须再次充电（见图 1-4），仅能作为城市内行驶的小型车。

通用公司在推出纯电动汽车 EVI 和雪佛兰电动 S-10 皮卡的同时，还在研发混合动力电动系统。虽然这些现代混合动力电动设计与 Piper 当初的设想不尽相同，但其基本概念是很相似的，即在获得纯电动汽车优势的同时保留现代内燃机汽车的行驶距离和性能。EVI 电池组如图 1-5 所示，包括 26 块高科技电池；电池组质量为 544kg；最大行驶距离约 70mile；充电间隔时间为 5~6h。

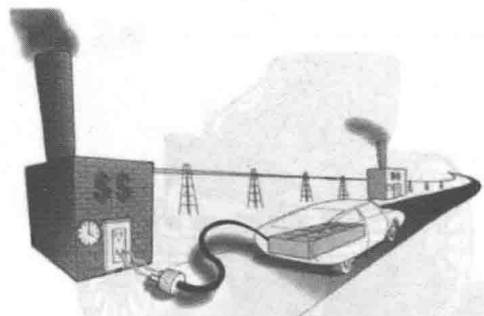


图 1-4 电动汽车花费时间充电

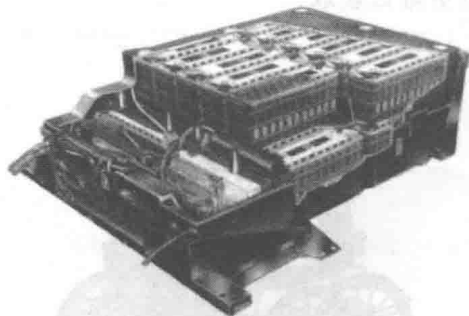


图 1-5 混合动力汽车电池组

二、混合动力汽车简介

混合动力汽车是指由两种或两种以上不同类型的动力源联合驱动的车辆，车辆的行驶动力依据车辆行驶状态由单个动力源单独或多个动力源共同提供。混合动力电动汽车（Hybrid Electrical Vehicle, HEV）是指由两种或两种以上不同类型的

动力源作驱动能源,其中至少有一种能提供电能的汽车。

通常所说的混合动力汽车一般指的是油电混合动力电动汽车,即燃油(汽油、柴油)和电能的混合,是由电机作为发动机的辅助动力驱动的汽车。油电混合动力系统中的能量转换器为发动机和电机,能量储存系统为油箱和动力电池。

混合动力汽车的特点是能够提高燃油经济性和降低排放,主要原因如下。

① 混合动力汽车只需采用能够满足汽车巡航需要的较小发动机,由电能提供汽车加速、爬坡时所需的附加动力,因此提高了发动机的负荷率。

② 可以控制发动机在高效率、低污染的区域运行,发动机的功率不能满足车辆驱动需求时,由电池来补充;发动机的功率过剩时,剩余功率给电池充电。

③ 因为有了电机、电源系统,可以方便地回收汽车制动、下坡时的能量。

④ 在车辆频繁启停的繁华市区,可以关闭发动机,由电池单独驱动,从而消除发动机的怠速能耗,并实现零排放。

三、混合动力汽车的类型

混合动力汽车可分为两大类,即液压蓄能式混合动力汽车(Hydraulic Hybrid Vehicle)和混合动力电动汽车(Hybrid Electric Vehicle)。

1. 液压蓄能式混合动力汽车(HHV)

HHV最初由Volvo Flygmotor在20世纪80年代开发,其主要应用于巴士、货车等重型车辆。HHV使用的动力是液压马达及传统的燃油(气)发动机。液压系统主要由液压泵(马达)、液压蓄能器和储液罐等组成。

HHV的特点是可单独使用液压泵(马达),或同时和传统内燃机一起使用驱动汽车行驶。该类汽车带有液压式能量回收系统,可回收汽车制动、减速时的能量。在汽车制动、减速时,用液压泵将汽车的动能转换为液压能,储存在装有氮气的蓄能器中,在汽车前进或加速时,使储存在蓄能器中的液压能通过液压马达释放出来,辅助发动机运转或单独驱动汽车行驶。

2. 混合动力电动汽车(HEV)

混合动力电动汽车(HEV)的特点是将燃油(气)发动机动力与电动机动力两种动力组合在一起。通常把燃油(气)发动机与电动机两种动力组合而成的混合动力电动汽车简称为油(气)-电混合动力电动汽车,把汽(柴)油发动机与电动机两种动力组合而成的混合动力电动汽车简称为汽(柴)油-电力混合动力电动汽车等。

混合动力电动汽车(HEV)的突出优点是:发动机可工作在经济工况区,排放低,燃油消耗少;发动机不在全负荷和加速工况工作,噪声小;可以回收制动时的能量和利用已有的燃油设施等。当然,混合动力电动汽车推广中也存在一些问题,如与传统汽车相比,动力系统复杂,成本较高,还有动力系统的质量增加,占用空间增大,故障率高于传统汽车等。

混合动力电动汽车(HEV)与传统汽车的区别主要是驱动系统。HEV通常至少由两种动力源组成,一种是由发动机提供的,与传统汽车类似的动力系统,从理

论上讲，所有可以用于传统汽车的发动机（包括各种内燃机和外燃机）都可用于 HEV；另一种是传统汽车上所没有的电驱动系统。电驱动系统通常由电能储存器（蓄电池、超级电容器、飞轮电池等）、电源变换器（逆变器、变压器等）和电动机（直流电动机、三相异步感应电动机、永磁电动机、开关磁阻电动机）等组成，为了能够利用发动机发电或回收汽车的制动能量，电驱动系统的电动机一般都可作为发电机使用，也有电动机和发电机分别设置的。HEV 的组成可以说是上述两种驱动系统的组合，由于组合方式和选用的装置种类的不同，就形成了各具特色的 HEV。

四、混合动力电动汽车的类型

汽车行业标准 QC/T 837—2010《混合动力电动汽车类型》对于混合动力电动汽车的类型进行了严格划分。

1. 按照动力系统结构形式划分

(1) 串联式混合动力电动汽车 (Series Hybrid Electric Vehicle, SHEV) 车辆行驶系统的驱动力只来源于电机的混合动力电动汽车。

典型的结构特点是发动机带动发电机发电，电能通过电机控制器输送给电机，由电机驱动车辆行驶。另外，动力蓄电池可以单独向电机提供电能驱动车辆行驶。

(2) 并联式混合动力电动汽车 (Parallel Hybrid Electric Vehicle, PHEV) 车辆行驶系统的驱动力由电机及发动机同时或单独供给的混合动力电动汽车。

典型的结构特点是并联式驱动系统可以单独使用发动机或电机作为动力源，也可以同时使用电机和发动机作为动力源驱动车辆行驶。

(3) 混联式混合动力电动汽车 (Combined Hybrid Electric Vehicle, CHEV) 具备串联式和并联式两种混合动力系统结构的混合动力电动汽车。

典型的结构特点是可以在串联混合模式下工作，也可以在并联混合模式下工作，同时兼顾了串联式和并联式混合动力电动汽车的特点。

2. 按照混合度划分

在混合动力系统中，根据电动机的输出功率在整个系统输出功率中所占比重，可以分为以下三类：微混合动力、轻度混合动力、重度混合动力（也称全混合动力、强混合动力）。混合度不同，功能要求也有差别，具体见表 1-1。

表 1-1 不同混合度类型及功能列表

类型	功能要求
微混合动力	发动机自动启停
轻度混合动力	发动机自动启停+回馈制动
重度混合动力	发动机自动启停+回馈制动+电动辅助+纯电驱动

(1) 微混合（弱混）动力系统 这种混合动力系统对传统发动机的起动机进行了改造，形成由带传动的发电启动一体式电机（BSG）。该电机用来控制发动机快

速启停,因此可以取消发动机的怠速过程,降低了油耗和排放。微混合动力系统搭载的电机功率比较小,仅靠电机无法使车辆起步,起步过程仍需要发动机介入,是一种初级的混合动力系统。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。在城市循环工况下节油率一般为5%~10%。

(2) 轻度混合(轻混)动力系统 该混合动力系统采用了集成启动电机(ISG)。与微混合动力系统相比,轻混动力系统除了能够实现用电机控制发动机的启停外,还能够在车辆制动和下坡工况下,实现对部分能量进行回收;在行驶过程中,发动机的动力可以在车轮的驱动需求和发电机发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,代表车型是通用汽车公司的混合动力皮卡车。

(3) 重度混合(重混)动力系统 重度混合动力系统采用了272~650V的高压电机,混合度可以达到50%以上,在城市循环工况下节油率可以达到30%~50%。其特点是动力系统以发动机为基础动力,动力电池为辅助动力。采用的电机功率更为强大,完全可以满足车辆在起步和低速时的动力要求。因此重度混合车型无论是在起步还是低速行驶状态下都不需要启动发动机,依靠电机可以完全胜任,在低速时就像一款纯电动车。在急加速和爬坡运行工况下车辆需要较大的驱动力时,电机和发动机同时对车辆提供动力。随着电机、电池技术的进步,重度混合动力系统逐渐成为混合动力技术的主要发展方向。丰田普锐斯混合动力汽车采用的就是重度混合动力系统。

3. 按照外接充电能力划分

(1) 外接充电型混合动力电动汽车 一种被设计成在正常使用情况下可从非车载装置中获取电能量的混合动力电动汽车。仅当制造厂在其提供的使用说明书中或者以其他明确的方式推荐或要求进行车外充电时,混合动力电动汽车方可认为是“外接充电型”的。仅用作不定期的储能装置电量调节或维护目的而非用作常规的车外能量补充,即使有车外充电能力,也不认为是“外接充电型”的车辆。

插电式(Plug-in)混合动力电动汽车属于此类型。插电式混合动力汽车(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)是可以利用电网对动力电池充电的混合动力汽车,可以使用纯电模式驱动车辆行驶,且纯电动行驶里程较长;电能不足时,车辆仍然可以重度混合模式行驶。一般插电式混合动力轿车都有车载充电机,可以使用家用电源为电池充电,而插电式混合动力公交车由于行驶路线固定,通常利用外接充电机充电。插电式混合动力系统的电机功率比纯电动汽车的稍小,动力电池的容量介于重混系统和纯电动车辆之间。由于具有利用夜间用电低谷对动力电池充电、降低排放等优势,插电式混合动力汽车已成为主流发展方向之一。

(2) 非外接充电型混合动力电动汽车 一种被设计成在正常使用情况下从车载燃料中获取全部能量的混合动力电动汽车。

4. 按照行驶模式的选择方式划分

(1) 有手动选择功能的混合动力电动汽车 具备行驶模式手动选择功能的混合动力电动汽车。车辆可选择的行驶模式包括发动机模式、纯电动模式和混合动力模

式三种。

(2) 无手动选择功能的混合动力电动汽车 不具备行驶模式手动选择功能的混合动力电动汽车。车辆的行驶模式根据不同工况自动切换。

第二节 混合动力电动汽车构造

一、串联式混合动力汽车

1. 基本结构

串联式混合动力系统的结构形式及驱动方式如图 1-6 所示。串联式混合动力系统

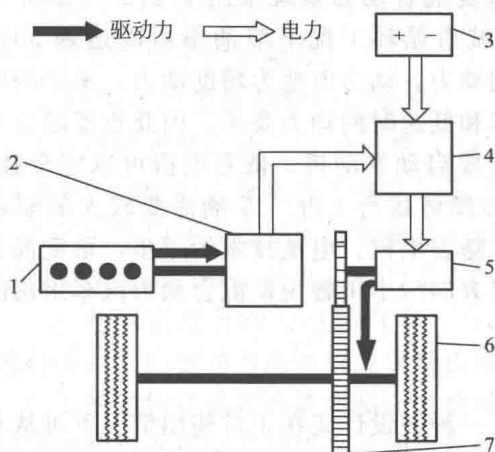


图 1-6 串联式混合动力系统结构形式及驱动方式

1—发动机；2—发电机；3—动力蓄电池；4—变压器；
5—电动机；6—驱动轮；7—减速器

利用发动机动力发电，从而带动电动机驱动车轮。其基本结构是由电动机、发动机、发电机、动力蓄电池、变压器等组成。由发动机进行准稳恒性运转来带动发电机，直接向电动机供应电力，或一边给动力蓄电池充电一边行驶。由于发动机的动力是以串联的方式供应到电动机，所以称为“串联式混合动力系统”。

发动机和发电机构成辅助动力单元，发动机输出的驱动力（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动力蓄电池充电，另一部分经由电动机和传动装置驱动车轮。在这种结构形式中，

发动机的唯一功能就是用来发电，而驱动车轮的转矩全部来自电动机。动力蓄电池实际上起平衡发电机输出功率和电动机输入功率的作用。

当发电机的发电功率大于电动机所需的功率时（例如汽车减速滑行、低速行驶或短时停车等工况），控制器控制发电机向动力蓄电池充电；当发电机发出的功率低于电动机所需的功率时（例如汽车起步、加速、高速行驶、爬坡等工况），动力蓄电池则向电动机提供额外的电能。串联式结构可使发动机不受汽车行驶工况的影响，始终在其最佳的工作区稳定运行，因此可降低汽车的油耗和排放。串联式混合动力系统的结构简单，控制容易，但是由于发动机的输出需全部转化为电能再变为驱动汽车的机械能，而机电能量转换和蓄电池的充放电的效率较低，因此使得串联式结构的能量利用效率较低。

2. 串联式混合动力驱动系统的三种基本控制模式

(1) 主要利用电池来驱动车辆，仅当 SOC (State of Charge, 荷电状态) 降低到最小限值时，发动机才启动，发动机在最高效率区以输出恒定功率的方式工作，当

SOC 回升到最大限值时发动机关机。这种控制模式的主要缺点是发动机的启动和关停会贯穿于车辆行车的整个过程，由于发动机每次关机期间，发动机和催化转换装置的温度会降低，从而导致它们的效率降低。这种控制模式也称为“恒温器式控制”。

(2) “负荷跟随”控制模式，保持电池的 SOC 在规定的范围之内，发动机带动发电机工作并尽可能地供应车辆行驶所需的电能，电池只起负荷调节装置的作用。这种模式电池的充放电量较小，能量损失最小，缺点是发动机不能工作在最佳转速和负荷下，因此其排放可能变差，效率降低。

(3) 上述两种控制模式的一个折中方案。在电池的 SOC 较高时，主要用纯电动模式。而当电池的 SOC 降低到设定的范围内时，发动机带动发电机工作，考虑到发动机的排放和效率，将其输出功率严格限定在一定的变化范围内。如果能预测到车辆行程内的总能量需求，则一旦电池中储存了足够的能量，在剩余的行驶过程中车辆就可转换为纯电动模式，到了行程终点正好耗尽电池所允许放出的电能。这种控制模式也称为最佳串联混合动力模式。

3. 串联式混合动力驱动系统的特点

(1) 串联式混合动力驱动系统的优点

① 由于发动机与驱动轮没有直接机械连接，因此发动机工作状态不受车辆行驶工况的影响，能运行在其转矩-转速特性图上的任何工作点，而且能始终在最佳的工作区域内稳定运行，因此，发动机具有良好的经济性和低排放性能。此外，发动机从驱动轮上的机械解耦，使高速发动机能够得到应用。

② 发动机与电动机之间无机械连接，整车的结构布置自由度较大，各种驱动系统元件可以放在最适合的位置。

③ 由于电动机的功率大，制动能量回收的潜力大，可以提高能量利用效率。

(2) 串联式混合动力驱动系统的缺点

① 发电机将发动机的机械能转变为电能，电动机又将电能转变为机械能，另外电池在充电和放电过程中也会发生能量损失，因此发动机输出的能量利用率比较低。串联混合动力系统的发动机能保持在最佳工作区域内稳定运行，这一特点的优越性主要表现在低速、加速等工况，而在汽车中、高速行驶时，由于其电传动效率较低，抵消了发动机效率高的优点。

② 电动机是唯一驱动汽车行驶的动力装置，因此电动机的功率要足够大。

③ 电池一方面要满足汽车行驶中峰值功率的需要，以补充发电机输出功率的不足；另一方面，要满足吸收制动能量的要求，这就需要较大的电池容量。因此，电动机和动力蓄电池的体积和重量都较大，使得整车重量较大。

根据以上的特点分析，串联式混合动力电动汽车更适用于经常在内市低速运行的工况，而不适合高速公路行驶工况。

二、并联式混合动力汽车

1. 基本结构

并联式混合动力系统使用电动机和发动机两种不同装置来驱动车轮，动力的流

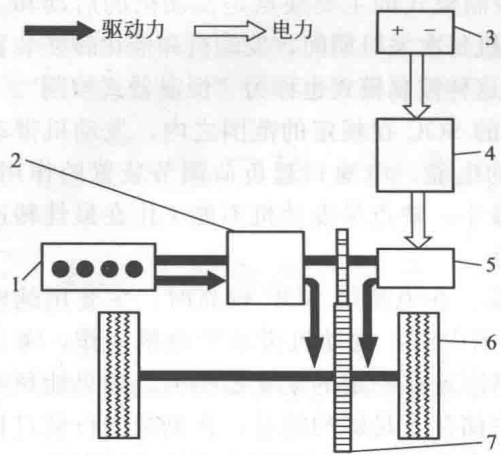


图 1-7 并联式混合动力系统的结构及驱动形式
1—发动机；2—变速器；3—动力蓄电池；4—变压器；
5—电动机/发电机；6—驱动轮；7—减速器

向为并联，所以称为“并联式混合动力系统”。它可以采用发动机单独驱动、电动机单独驱动、发动机和电动机混合驱动三种工作模式。典型的并联式混合动力系统的结构形式及能量流动路线如图 1-7 所示，其基本结构是由电动机/发电机、发动机、动力蓄电池、变压器和变速器等组成。

并联式混合动力系统中利用动力蓄电池的电力来驱动电动机，因电动机在汽车制动时进行制动能量回收，此时电动机用作发电机使用。

2. 并联式混合动力驱动系统典型工作模式的功率流

(1) 车辆启动、低速及轻载行驶时，发动机关闭，车辆由电机驱动，为纯电动工况，如图 1-8 所示。

(2) 车辆正常行驶、加速及爬坡工况时，发动机和电机同时工作驱动车辆行驶，如图 1-9 所示。

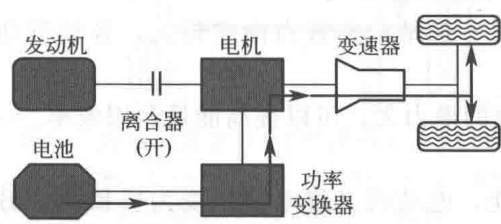


图 1-8 纯电动工作模式

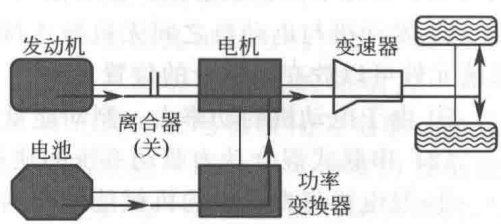


图 1-9 混合动力模式

(3) 在车辆行驶过程中，当车载电池组电量过低时，发动机在驱动车辆行驶的同时向电池补充充电，如图 1-10 所示。

(4) 车辆减速及制动时，电机以发电机模式工作，回收车辆制动能量向电池充电，如图 1-11 所示。

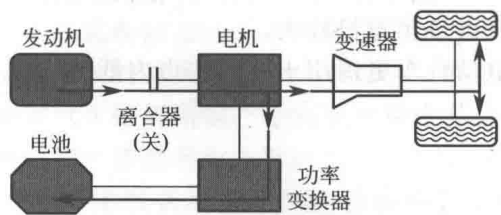


图 1-10 向蓄电池充电模式

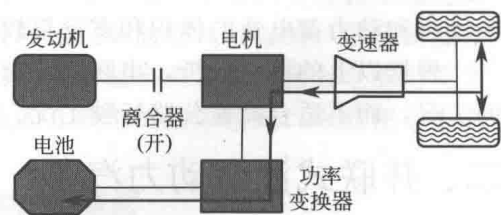


图 1-11 制动能量回收模式

3. 并联式混合动力驱动系统两种基本控制模式

(1) 发动机辅助混合动力模式 这种模式主要利用电池-电机系统来驱动车辆，仅当以较高的巡航速度行驶、爬坡和急加速时才使发动机启动。这种控制模式的优点是大多数情况下车辆都是用电池的电能来工作，车辆的排放和燃油消耗较少，同时可以取消发动机的起动机而利用车辆运动的惯性启动发动机。这种控制模式的缺点是，由于发动机每次关机期间，发动机和催化转化装置的温度降低而导致它们的效率降低，尾气排放增加。

(2) 电机辅助混合动力模式 这种模式主要利用发动机来驱动车辆，电机只在两种状态下使用：一是用于瞬间加速和爬坡需要峰值功率时，可使发动机工作在最高效率区间，以降低排放和减少燃油消耗；二是在车辆减速制动时电机被用来回收车辆的制动动能对电池进行充电。这种模式的主要缺点是车辆不具备纯电动模式，在行驶过程中若经常加速，电池的电能消耗到最低限度，则会失去电机辅助能力，驾驶员会感到车辆动力性能有所降低。

4. 并联式混合动力驱动系统的特点

(1) 发动机通过机械传动机构直接驱动汽车，无机械能-电能的转换损失，因此发动机输出能量的利用率相对较高。如果汽车行驶工况能保证发动机在其最佳的工作范围内运行时，并联式混合动力驱动系统的燃油经济性要比串联式混合动力驱动系统的高。

(2) 当电机仅起功率调节作用时，电机、发动机的功率可适当减小，电池的容量也可减小。

(3) 在繁华的市区低速行驶时，并联式混合动力系统可通过关停发动机，以纯电动方式运行实现零排放，但这就需要有功率足够大的电机，所需电池的容量相应也要大。

(4) 发动机与电机并联驱动时，还需要动力复合装置，因此，并联驱动系统的传动机构较为复杂。

(5) 并联式混合动力驱动系统与车轮之间直接机械连接，发动机的运行工况会受车辆行驶工况的影响，所以车辆在行驶工况频繁变化的情况下运行时，发动机有可能不在其最佳工作区域内运行，其油耗和排放指标可能不如串联式混合动力系统。并联式混合动力系统最适合于汽车在中、高速工况下稳定行驶。

5. 并联式混合动力汽车实例

日产风雅混合动力汽车采用并联式混合动力驱动系统。

(1) 混合动力系统结构 日产风雅混合动力汽车的混合动力系统称为单电机双离合器式混合动力系统，如图 1-12 所示。其混合动力系统以电

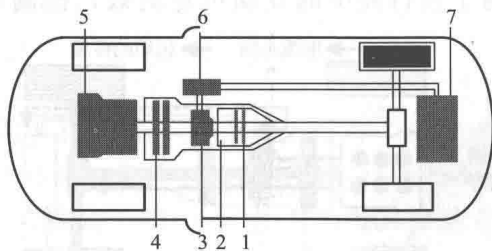


图 1-12 日产风雅混合动力系统的结构

1—离合器II；2—电子控制式7挡自动变速器；3—电机；
4—离合器I；5—发动机；6—逆变器；7—锂离子蓄电池