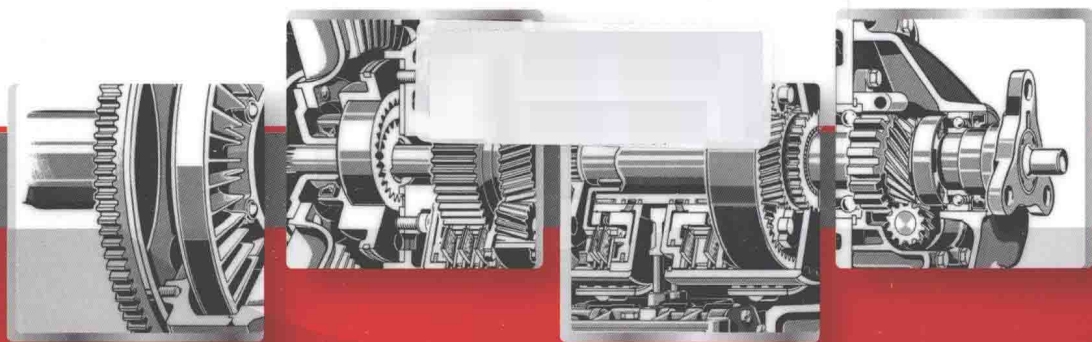


北极光

混合动力汽车 原理与维修技术

从入门到精通

曹振华 主编 / 武杰 刘广航 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

混合动力汽车原理与维修 技术从入门到精通

曹振华 主 编

武 杰 刘广航 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书主要阐述混合动力汽车的工作原理、结构特点以及故障诊断和维修方法等，同时以国内常见的几款混合动力汽车，如丰田普锐斯、本田思域以及大众桑塔纳等车型为例，采用各车型的位置图、结构图、原理图、电路图，配合文字，在理解结构原理的基础上进行详细的讲解，并引导读者对各系统进行系统、充分的学习。

本书是一本了解混合动力汽车结构与工作原理，掌握混合动力汽车故障诊断和维修技术的入门级图书，主要面向具有一般汽车专业知识的技术人员，也适合从事汽车维修、销售和技术管理等工作的读者阅读。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

混合动力汽车原理与维修技术从入门到精通 / 曹振华主编. —北京：电子工业出版社，2014.5
ISBN 978-7-121-22933-6

I. ①混… II. ①曹… III. ①混合动力汽车—理论 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（2014）第 070903 号

责任编辑：杨 博

特约编辑：蒲 玥

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：三河市皇庄路通装订厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：24.5 字数：612 千字

印 次：2014 年 5 月第 1 次印刷

定 价：65.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

根据有关报道：中国将跨过现有的汽车燃油技术，投入大量的资金和人力研究新型混合动力汽车和纯电动汽车及燃料电池汽车。中国的最新纯电动汽车最高可达 150 公里/小时，充电一次可行驶 180 公里，电池以国产锂充电电池为主，产量从 2008 年的 2100 辆提高到 2011 年的 50 万辆。据汽车咨询公司 CSM 统计，截至 2011 年年底日韩两国的混合动力汽车和纯电动汽车总产量达到 110 万辆，北美地区产量为 26.7 万辆。中国有望在混合动力汽车或纯电动小汽车和公共汽车上起到领头羊的作用。这将给汽车维修行业带来一次不小的变革，只掌握传统的维修技术对于混合动力汽车维修来讲就显得力不从心了，因为混合动力汽车的维修人员必须掌握很深的电学理论并拥有很强的实际维修操作能力。

目前，国内汽车维修类的书籍遍地都是，但是关于混合动力汽车方面的可以说是凤毛麟角，并且大多还都是关于理论研究的，这些书籍比较适合大专院校作为汽车专业授课使用，对于维修人员来说基本上没什么用处。

为了使广大汽车维修人员掌握混合动力汽车维修这门新技术，作者联合了几位汽车售后维修中心的工程师，合作编写了这本书。其中曹振华、周强、马利伟、赵红芳编写了第 1、2 章，刘广航、周永斌、刘堃、谢永昌编写了第 3 章，武杰、于金杰、董硕、周新编写了第 4 章，马高伟、杨治、郭杨杨编写了第 5 章。全书由曹振华整理并统稿。在本书编写过程中，我们尽量避开复杂的计算公式，力求通俗易懂，并且理论联系实际，其中集合了大量的厂家一手资料，可以说是非常珍贵的。本书尤其适合传统的汽车修理工提高业务水平，以及即将走上工作岗位的相关专业的学生使用。由于作者水平有限，书中难免有疏漏之处，望广大读者多提宝贵意见。

编 著 者

第 1 章 混合动力汽车基础知识	1
1.1 混合动力汽车概述	1
1.1.1 混合动力汽车的发展概况	2
1.1.2 混合动力汽车的三大组成部分	5
1.1.3 混合动力汽车的分类	5
1.1.4 动力融合技术	9
1.1.5 控制系统	12
1.2 混合动力的工作过程	14
1.2.1 节能概述	14
1.2.2 混合动力工作模式	15
1.2.3 混合动力模式的工作过程	16
1.3 混合动力汽车的典型结构	21
1.3.1 串联式混合动力	21
1.3.2 并联式混合动力	23
1.3.3 混联式混合动力	31
1.4 发动机	35
1.4.1 汽油发动机	35
1.4.2 柴油发动机	38
1.4.3 混合动力汽车对发动机的要求	40
1.5 电动机	41
1.5.1 直流电动机	44
1.5.2 交流电动机	45
1.5.3 永磁式电动机	46
1.5.4 开关磁阻型电动机	53
1.5.5 电动机控制系统	56
1.6 蓄电池	63
1.6.1 蓄电池的性能要求	64
1.6.2 铅酸电池	67

1.6.3	镍-镉电池	68
1.6.4	镍-氢电池	70
1.6.5	锂离子电池	74
1.6.6	蓄电池管理系统	78
1.7	混合动力变速器	82
1.7.1	行星齿轮	82
1.7.2	行星齿轮的传动方式	83
1.7.3	电动无级变速器的结构	84
1.8	可外接充电式混合动力汽车 (PHEV)	87
1.8.1	PHEV 的优势	87
1.8.2	PHEV 电池组工作模式	88
1.8.3	PHEV 的工作特点	89
1.8.4	PHEV 的应用	89
1.9	混合动力的安全性	91
第 2 章	丰田普锐斯混合动力汽车的结构与工作原理	96
2.1	概述	96
2.1.1	丰田混合动力汽车简介	96
2.1.2	丰田普锐斯的技术特点	98
2.2	丰田混合动力系统	102
2.2.1	系统组成	102
2.2.2	系统工作原理	129
2.2.3	控制系统	140
2.3	混合动力发动机	154
2.3.1	概述	154
2.3.2	冷却系统	157
2.3.3	燃油系统	160
2.3.4	进气排气系统	162
2.3.5	控制系统	162
2.4	电动机	170
2.5	底盘	171
2.5.1	混合动力变速驱动桥	171
2.5.2	制动控制系统	183
2.5.3	电子动力转向系统	196
2.6	混合动力启动系统	199
2.6.1	点火钥匙系统	202
2.6.2	智能进入和启动系统	203
2.7	空调系统	208
2.7.1	系统特点	208

2.7.2	系统组成	208
2.7.3	空调系统结构和工作原理	208
2.7.4	变频压缩机	212
2.7.5	电动水泵	214
2.7.6	鼓风机脉冲控制器	215
2.7.7	空气过滤器	216
2.7.8	空调 ECU	216
第 3 章	普锐斯混合动力汽车的维修	220
3.1	混合动力控制系统维修	220
3.1.1	维修时需注意的事项	220
3.1.2	控制系统结构	223
3.1.3	混合动力系统检查	229
3.1.4	混合动力控制系统故障判断	237
3.1.5	故障举例	242
3.1.6	混合动力系统的拆装	255
3.2	发动机控制系统的维修	262
3.2.1	发动机维修时的注意事项	262
3.2.2	发动机控制系统的结构	263
3.2.3	发动机控制系统的检查	265
3.2.4	故障诊断	270
3.2.5	数据表/动态测试	276
3.2.6	故障举例	278
3.3	混合动力电池系统的维修	287
3.3.1	电池系统概述	287
3.3.2	电池系统的检修	287
3.3.3	蓄电池自检系统	291
3.3.4	故障举例	296
3.4	混合动力系统底盘的维修	299
3.4.1	变速驱动桥的维修	299
3.4.2	制动控制系统的维修	310
3.4.3	电动转向系统的维修	317
第 4 章	本田思域混合动力汽车的系统原理与维修	320
4.1	本田混合动力电动部分	320
4.1.1	混合动力工作模式	320
4.1.2	系统组成与电路控制	324
4.1.3	混合动力主要部件分析	329
4.1.4	相关部件拆装	333

4.2	混合动力发动机部分	335
4.2.1	发动机介绍	335
4.2.2	凸轮轴气门	336
4.2.3	冷却系统	338
4.3	混合动力制动系统	339
4.3.1	系统概述	339
4.3.2	主要部件及工作过程	340
4.3.3	维修和注意事项	356
4.4	变速驱动桥系统	359
4.4.1	概述	359
4.4.2	启动离合器	360
4.4.3	检测颤振	360
4.4.4	变速驱动桥油液检查	361
4.4.5	挡位自动控制	362
第 5 章	桑塔纳 (Santana) 3000 LPG 混合动力汽车的原理与维修	364
5.1	概述	364
5.1.1	能源与环境	364
5.1.2	简述 LPG	365
5.1.3	Santana3000 LPG 汽车的主要性能	367
5.1.4	大众汽车 LPG 系统的布置	369
5.1.5	混合气供应系统	371
5.2	Santana3000 LPG 的电控部分	377
5.2.1	LPG 电控系统的构成	377
5.2.2	电控系统的主要部件	378
5.3	LPG 系统的保养与维修	380
5.3.1	LPG 加气	380
5.3.2	汽车运行时的燃料切换	381
5.3.3	汽车运行时紧急状况的处理	381
5.3.4	系统报警	381
5.3.5	维修和保养	382
附录	英文名词解释	383

混合动力汽车基础知识

1.1 混合动力汽车概述

汽车工业历来是一个国家的支柱性产业，是衡量一个国家工业化水平的重要标志，也关系到一个国家的国民经济水平和国际竞争力。据有关资料显示：经济发达国家在世界经济中的地位与其在世界汽车工业中的排名顺序基本上是吻合的。如今，全世界汽车的保有量已达到近7亿辆，汽车已与人们的日常生产和生活密不可分。然而，当今世界石油资源日趋紧张，众多燃油汽车尾气排放造成空气质量日益恶化，开发低排放、低油耗的新型汽车成为当今汽车工业界的紧迫任务。未来汽车技术的发展主要是围绕着“能源”与“环保”两大主题。人们越来越关注其他燃料的汽车和电动汽车的开发，电动汽车成为最主要的选择之一。电动汽车（Electric Vehicle, EV）包括纯电动汽车（BEV）、混合动力汽车（Hybrid Electric Vehicle, HEV 或 HV）和燃料电池汽车（Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV）三种。使用电动汽车可实现无污染，并可利用煤炭、水力等其他非石油资源，它是理想的零排放或低排放车辆，因此，使用电动汽车无疑是解决问题的最有效途径。但是由于作为纯电动汽车的关键部件之一的电池在能量密度、寿命、价格等方面的问题，使得纯电动汽车的性价比无法与传统的内燃机汽车抗衡。尽管目前具有世界先进水平的纯电动汽车的性能与内燃机汽车已不相上下，但过高的成本使其难以商品化。燃料电池汽车具有高效率、低排放、低噪声的特点，其燃料甲醇有广泛的来源，并可再生。所以燃料电池汽车已成为世界各大汽车集团新世纪激烈竞争的焦点，被喻为21世纪改变人类生活的十大高科技项目之首，但产业化仍需较长时间，在这种环境下，结合内燃机汽车和电动汽车优点的混合动力汽车异军突起，在世界范围内成为新型汽车开发的热点，可以相信，在电动汽车的储能部件——电池没有根本性突破以前，使用混合动力汽车是解决排污和能源问题最具现实意义的途径之一。

混合动力电动汽车（HEV）是在一辆汽车上同时配备电力驱动系统和辅助动力单元（Auxiliary Power Unit, APU），其中 APU 是燃烧某种燃料的原动机或由原动机驱动的发电机组，目前 HEV 所采用的原动机一般为柴油机、汽油机或燃气轮机。混合动力电动汽车将原动机、电动机、能量储存装置（蓄电池）组合在一起，它们之间的良好匹配和优化控制，可充分发挥内燃机汽车和电动汽车的优点，避免各自的不足，是当今最具实际开发意义的低排放

和低油耗汽车。

较之纯电动汽车，混合动力汽车（HEV）具有如下特势：

- (1) 可以最大限度发挥内燃机汽车和纯电动汽车的双重优势。
- (2) 由于有原动机作为辅助动力，电池的数量和质量可减少，因此汽车自身重量可以减小。
- (3) 汽车的续驶里程和动力性可达到内燃机的水平。
- (4) 借助原动机的动力，可带动空调、真空助力、转向助力及其他辅助电器，无须消耗

电池组有限的电能，从而保证了驾车和乘坐的舒适性。

较之内燃机汽车，混合动力汽车（HEV）具有如下优点：

- (1) 可使原动机在最佳的工况区域稳定运行，从而大大减少了汽车变工况（特别是低速、怠速）时的排放，再由于可回收制动能量，可使混合动力汽车成为较低排放的节能汽车。
- (2) 在人口密集的商业区、居民区和游览区等区域，混合动力汽车可以关闭辅助动力单元（APU），由纯电力驱动，成为零排放的电动汽车。
- (3) 可通过电动机提供动力，因此可配备功率较小的发动机，并可通过电动机回收汽车减速和制动时的能量，进一步降低汽车的能量消耗和排污。

混合动力汽车基本上不改变现有的汽车产业结构，不改变现有能源（石油燃料）的体系，不改变用户对汽车的使用习惯，这也是它能够迅速实现产业化的重要原因。

由以上分析可以看出，混合动力汽车的研究和发展对于解决环境污染和能源危机这两个人类目前面临的大难题能起到相当大的作用。

1.1.1 混合动力汽车的发展概况

当前普遍使用的燃油发动机汽车存在种种弊病，统计表明在占 80% 以上的道路条件下，一辆普通轿车仅利用了动力潜能的 40%，在市区还会跌至 25%，更为严重的是排放废气污染环境。20 世纪 90 年代以来，世界各国对改善环境的呼声日益高涨，各种各样的电动汽车脱颖而出。虽然人们普遍认为未来是电动汽车的天下，但是目前的电池技术问题阻碍了电动汽车的应用。由于电池的能量密度与汽油相比差上百倍，远未达到人们所要求的数值，专家估计在 10 年以内电动汽车还无法取代燃油发动机汽车（除非燃料电池技术有重大突破）。

现实迫使工程师们想出了一个两全其美的办法，开发了一种混合动力装置（HEV）的汽车。所谓混合动力装置就是将电动机与辅助动力单元组合在一辆汽车上做驱动力，辅助动力单元实际上是一台小型燃料发动机或动力发电机组。形象一点说，就是将传统发动机尽量做小，让一部分动力由电池-电动机系统承担。这种混合动力装置既发挥了发动机持续工作剪时间长，动力性好的优点，又可以发挥电动机无污染、低噪声的好处，二者“并肩战斗”，取长补短，汽车的热效率可提高 10% 以上，废气排放可改善 30% 以上。作为一项崭新的技术，20 世纪 90 年代初以来，混合动力汽车的开发得到了美国、日本及欧洲许多发达国家的高度重视，并已取得了一些重大的成果和进展。下面介绍当前世界各国混合动力汽车的技术发展状况。

1. 国外混合动力汽车的技术发展状况

(1) 20 世纪 90 年代，美国斥巨资组织各大汽车公司和有关部门积极开展混合动力汽车的研究工作。1993 年提出了旨在开发新一代高效节能汽车的 PNGV（the Partnership for a New

Generation of Vehicles) 计划。美国先进项目局 (ARPA) 于 1993 年订立电动汽车和混合动力汽车项目, 出资 2500 万美元研究 EV 和 PEV 技术。1994 年 ARPA 项目投资已增加到 4600 万美元。美国能源部与三大汽车公司于 1993 年签订了混合动力电动汽车开发合同, 进行为期 5 年的研发工作, 并于 1998 年在北美国际汽车展上展出了样车。随着 PNGV 计划的实施, 美国三大汽车公司进行了一系列的整车技术开发和研制工作。

1990 年, 美国通用汽车公司在洛杉矶展出“冲击”(Impact) 牌电动轿车, 即人们常说的 EV1 电动轿车。其时速达到 128km/h (采用了电子限速, 曾创下了 292.8km/h 的电动汽车车速纪录), 0~96km/h 加速时间小于 9s, 高速公路行驶一次充电续驶里程达到 144km, 电池剩余容量即荷电状态 (SOC) 为 15%, 采用车载充电机充电时间为 15h, 而采用固定充电机充电时间仅为 3h。EV1 成为现代电动汽车的典范。通用汽车公司在推出电动汽车 EV1 的同时, 也致力于串联式混合动力汽车和并联式混合动力汽车的研制, 他们以原来的产品 EV1 为基础, 于 1998 年开发了 EV1 型 4 座混合动力汽车, 并于 2000 年 11 月开发出混合动力皮卡车, 并在美国多个城市进行了商业试运行, 到 2008 年年底, 通用汽车公司在北美地区拥有 8 款混合动力汽车, 其中, 通用君越混合动力 ECO-Hybrid 已于 2008 年 9 月在中国开始销售。

福特汽车公司已开发出福行 P2000 型 5 座并联式混合动力汽车, 福特新开发出的“优异 2010”概念车试验平台的性能已达到了 PNGV 计划的部分目标, 同时福特又于 2003 年推出了汽油机与电动机共同驱动的混合动力小型运动车 Escape, 截至 2005 年 7 月已经售出了 40 多万辆。

1998 年 1 月, 克莱斯勒汽车公司宣布开发出道奇“无畏”WSX2 串联式混合动力汽车。1997 年由美国国家航空航天局 (NASA) Lewis 中心、俄亥俄州政府和工业界、大学等 9 个单位合作, 开发出串联式电动喷气涡轮混合动力大客车。

(2) 从目前世界范围内的整个形势来看, 日本是电动汽车技术发展速度最快的少数几个国家之一, 特别是在发展混合动力汽车方面, 日本居世界领先地位。目前, 世界上能够批量产销混合动力汽车的企业, 只有日本的丰田和本田两家汽车公司。1997 年 12 月, 丰田汽车公司首先在日本市场上推出了世界上第一款批量生产的混合动力轿车普锐斯 (PRIUS), 2000 年起便在北美、欧洲及世界各地公开发售。到了 2001 年, 丰田汽车公司又在日本推出了 Ectima 混合动力小货车、使用弱混合动力的皇冠豪华小轿车和 Dyna 混合动力轻型货车。2005 年 11 月 30 日, 丰田汽车正式宣布, 丰田混合动力汽车累计已经销售超过了 50 万台。普锐斯自 1997 年在日本上市之后, 进入美国、英国、中国等 70 多个国家, 截至 2010 年 9 月全球销量突破 200 万辆。2006 年丰田公司在美国推出凯美瑞混合动力汽车, 目前的累计销量已超过 10 万辆, 成为丰田汽车销量第二高的混合动力产品。目前, 丰田汽车在全世界 50 多个国家销售混合动力产品。其中, 北美和日本是主要的消费市场。2004 年 9 月 15 日, 中国一汽集团与日本丰田汽车公司在北京举行了混合动力汽车合作项目签约仪式, 共同生产丰田普锐斯混合动力小汽车。

在实现低排放的前提下, 为了提高车辆的动力性, 在 2003 年, 丰田汽车公司把新一代的混合动力系统 (Hybrid Synergy Drive) 引入了第二代的普锐斯。在 2005 年丰田把这套系统的使用范围扩展到了对动力性能要求更高的 SUV 车型上——雷克萨斯的 RX400h (日本名为 Harrier Hybrid) 和 Highander Hybrid (日本名为 Kluger Hybrid)。丰田第三代普锐斯于 2009

年年初在底特律车展上亮相，并于5月18日开始在日本各地发售。第三代普锐斯搭载阿特金森循环1.8 L4缸发动机，取代旧款的1.5L发动机，最大功率为98马力，比旧款提高22马力，扭矩到142 N·m，比旧款增加31 N·m，加上电动机动力整车最大功率为134马力，低速扭矩进一步提升，这也意味着低速时能够获得更好的燃油经济性。百公里加速时间比旧款提高1 s，仅需9.8 s。丰田第三代普锐斯提供四种驾驶模式，Normal为正常模式；EV-Drive模式允许驾驶者在低速状态下单纯依靠电力行驶约1.6 km；而Power（动力）模式提高油门灵敏度，使得驾驶感向跑车趋近；Eco模式则可以帮助驾驶员获得最佳的燃油经济性。第三代普锐斯百公里油耗仅为4.7L。

继丰田普锐斯混合动力汽车成功推向市场之后，本田汽车公司也开发了自己的混合动力汽车产品，目前本田汽车公司主要销售两个品牌，一个是1999年推出的Insight，一个是2001年推出的Civic。并实现了在北美和日本市场上的销售。截至2008年年底，本田汽车公司混合动力车型的累计销量达到约30万辆，2009年2月6日，全新款Insight登陆日本市场。短短10天订单就突破1000辆，远远超出当初制订的销售计划，本田还在混合动力车的开发上，通过研究新型发动机、镍氢蓄电池等追求动力高效化；通过开发新型轻质铝车身、树脂油箱等谋求车辆的轻型化，使汽车达到每升汽油可行驶35 km的世界最高水平，并且使汽车尾气排放达到世界最严格要求的标准。

1995年5月日产汽车公司开发了可以使续驶里程增加1倍的串联式混合动力型微型轿车。同年9月日产汽车公司又开发出使耗油量降低一半，并且可以批量生产的并联方式混合动力型汽车系统。日野汽车制造公司也于1997年12月开发出了柴油机/电动并联式混合型系统的客车。日本富士重工则将研制微型混合动力型汽车作为自己的主攻目标。三菱电动机公司也开发出轻型串联式混合动力卡车。

(3) 欧洲也正在积极进行混合动力汽车的开发、研制及推广工作，法国雷诺公司研制的VERT和HYMME两款混合动力汽车已在法国接受10000 km的运行试验。并于1998年研制出电动汽油两用车。这种电动汽油两用车前部装有一台汽油发动机，2台7 kW电动机装在两个后轮上，瑞典沃尔沃公司也开发出基于沃尔沃FL6卡车改装的混合动力汽车，最高时速可达90 km。德国已有几十辆混合动力大客车在斯图加特和威塞尔市运行。德国开发的并联式混合动力车DUO已小批量生产。

因此，在各大型汽车公司纷纷推出具有各自特色的混合动力汽车的同时，以日本为主导的混合动力汽车产业格局将被打破，在可以预见的2~3年内，混合动力汽车将逐步成为各大汽车公司在国际市场上竞争的主流产品。

2. 中国在混合动力汽车领域的开发动态

我国在“八五”和“九五”期间都有计划地开展了电动汽车的关键技术攻关和整车研制，在此基础上也进行了混合动力汽车的若干技术领域的开发。清华大学1995年就开始研究混合动力汽车关键技术和系统及理论。目前我国各大汽车集团都在进行混合动力电动汽车研发，多数以混合动力电动客车为主，这种研发方向符合我国国情，有利于我国电动汽车的研究发展。一汽研发的红旗HQ3于2006年投产；东风集团的混合动力公交车已于2005年7月完成最终产品定型，样车试验并通过验收；长安集团具有完全自主知识产权的羚羊混合动力电动车已产出样车，其装备混合动力技术的长安CV9已经下线；奇瑞集团成立了国家节能环保汽

车工程技术研究中心，在 2006 年下半年重点推出第一自主品牌真正意义上的混合动力汽车——代号为“BSG”的混合动力车；吉利集团旗下的上海华普汽车已与同济大学汽车学院签署合作协议，预计 3 年内完成混合动力轿车商业化生产；深圳五洲龙汽车有限公司也表示，中国规模最大、投放车辆最多的混合动力示范运营线路即将在深圳市龙岗区开通。而广州本田更是紧跟丰田的步伐，于 2006 年中下旬推出国产雅阁混合动力车。上汽集团与通用签署协议，将联手开发混合动力轿车和公交客车。来自中兴汽车的消息，中兴汽车与美国在“汽车混合动力技术、转子发动机技术及飞行汽车技术”等方面有着雄厚的技术实力的梅尔莱普顿集团签订了合作意向书，正式介入“油气混合动力技术”领域。2007 年 11 月底，10 辆奇瑞 BSG (Belt Driven Starter Generator, 皮带驱动启动发电机) 混合动力轿车率先销售到奇瑞出租车公司，小批量投放出租车市场；2007 年 12 月 13 日，长安汽车集团自主研发了首款量产杰勋牌混合动力汽车。与此同时，新能源汽车作为未来汽车的主要发展方向，国家一向给予支持和鼓励。如《汽车产业发展政策》、《“十一五”汽车产业发展规划》等政策和文件都鼓励清洁汽车、代用燃料及汽车节油技术的发展。

1.1.2 混合动力汽车的三大组成部分

混合动力汽车 (HEV) 的主要组成包括发动机、电动机和电池。

1. 发动机

HEV 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 HEV。

2. 电动机

HEV 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 HEV 的发展，直流电动机已经很少采用，多数采用了感应电动机和永磁电动机，开关磁阻电动机应用也得到重视，还可以采用特种电动机为 HEV 的驱动电动机，采用不同的电动机就可以组成不同的 HEV。

3. 电池

HEV 可以采用各种不同的蓄电池、燃料电池、储能器和超级电容器等作为“电池”，一般电池只作为 HEV 的辅助能源，只有在 HEV 用电动机启动发动机或电动机辅助驱动时才使用。

1.1.3 混合动力汽车的分类

混合动力汽车的分类方法有很多，下面介绍几种典型的分类方法。

1. 按动力传动系统布置分类

目前世界各国研发的混合动力汽车有不同的结构形式，其动力传动系统的配置和组合方式也不尽相同，总结起来共有 3 种组合方式，分别为：串联式、并联式和混联式，它们各自

的结构形式和特点如下：

(1) 串联式混合动力驱动系统 (SHEV)。串联式混合动力系统一般由内燃机直接带动发电机发电，产生的电能通过控制单元传到电池，再由电池传输给电动机转化为动能，最后通过变速器来驱动汽车。在这种联结方式下，电池就像一个水库，只是调节的对象不是水量，而是电能。电池对在发电机产生的能量和电动机需要的能量之间进行调节，从而保证车辆正常行驶。串联式混合动力驱动系统示意图如图 1-1 所示，辅助动力单元 (APU) 由原动机和发电机组成，通常将这两个部件集成为一体。原动机带动发电机发电，其电能通过控制器直接输送到电动机，由电动机产生驱动力矩驱动汽车。电池实际上起平衡原动机输出功率和电动机输入功率的作用。当发电机的输出功率大于电动机所需的功率时 (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电池充电；当发电机的输出功率低于电动机所需的功率时 (如汽车起步、加速、高速行驶、爬坡等工况)，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，可使汽车的油耗和尾气排放降低。串联式混合动力汽车特别适用于在市区内低速运行的工况。在繁华的市区，汽车在起步和低速时还可以关闭原动机，只利用电池进行功率输出，使汽车达到零排放的要求。串联式结构的不足是：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，由于机电能量转换和电池充放电的效率较低，使得燃油能量的利用率比较低。

由于只有电动机在驱动汽车，因此串联混合动力中的电动机功率强大且沉重；由于串联混合系统的重量要求，因此该系统的应用通常局限于大型汽车，例如机场摆渡客车、非核动力潜水艇以及柴油电动机车等。

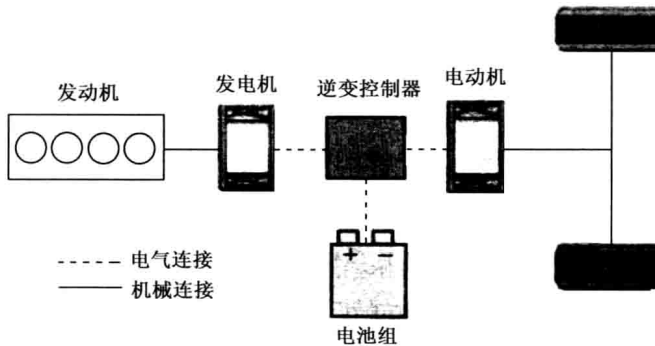


图 1-1 串联式混合动力驱动系统示意图

(2) 并联式混合动力驱动系统主要由发动机、电动机-发电机两大动力组成，其功率可以互相叠加。当电动机只是作为辅助驱动系统时，功率可以比较小。与串联式结构相比，发动机通过机械传动机构直接驱动汽车，其能量的利用率相对较高，这使得并联式燃油经济性比串联式的高。并联式驱动系统最适合于汽车在城市间公路和高速公路上稳定行驶的工况。由于并联式驱动系统的发动机工况要受汽车行驶工况的影响，因此不适于行驶工况变化较多、较大的汽车；并联式相比于串联结构式，需要变速装置和动力复合装置，传动结构较为复杂。并联式混合动力驱动系统的示意图如图 1-2 所示。

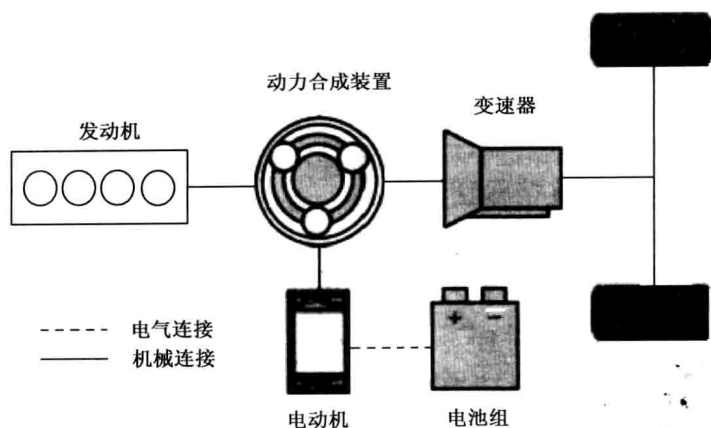


图 1-2 并联式混合动力驱动系统示意图

(3) 混联式混合动力驱动系统是串联式与并联式的综合，其结构示意图如图 1-3 所示。其驱动系统最后发动机与电动机以机械能叠加的方式驱动汽车，但驱动电动机的发电机串联于发动机。目前的混联式结构一般以行星齿轮作为动力复合装置的基本构架。发动机发出的功率一部分通过机械传动输送给驱动桥，另一部分则驱动发电机发电。发电机发出的电能输送给电动机或电池，电动机产生的驱动力矩通过动力复合装置传送给驱动桥。混联式驱动系统的控制策略是：在汽车低速行驶时，驱动系统主要以串联方式工作；当汽车高速稳定行驶时，则以并联工作方式为主。

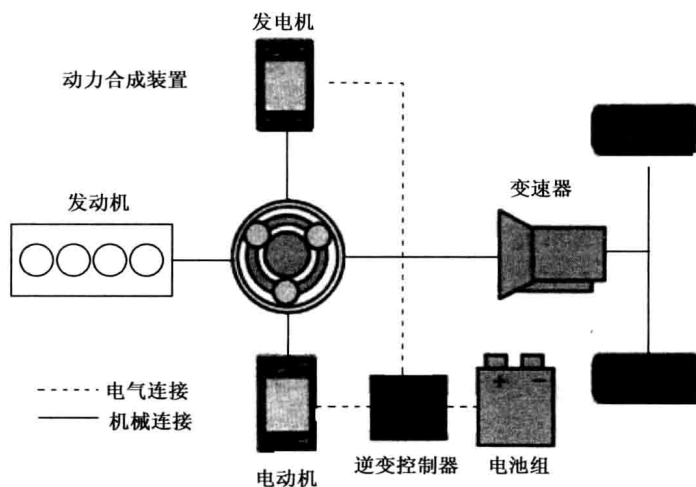


图 1-3 混联式混合动力驱动系统示意图

混联式驱动系统充分发挥了串联式和并联式的优点，能够使发动机、发电机、电动机等部件进行更多的优化匹配，从而在结构上保证了在更复杂的工况下使系统处于最优状态下工作，所以更容易实现排放和油耗的控制目标，因此是最具影响力的辅助动力单元。与并联式相比，混联式的动力复合形式更复杂，因此对动力复合装置的要求更高。目前的混联式结构一般以行星齿轮作为动力复合装置的基本构架。

目前开发出来的混合动力汽车以串联式和并联式为主，这两种方式的技术难度较低，串联式混合动力汽车的动力完全依靠电动机提供，发动机、发电机和电动机的功率都很大，而且对电池的要求较高，电池的体积、重量、成本相对较高，性价比较低；并联式混合动力汽车主要依赖于发动机提供动力，电池仅是串联式的 1/3，而且能量传递损失较小，但是排放污染较大，发动机的燃烧效率不高。随着 1997 年丰田普锐斯混联式混合动力汽车的出现，世界各大公司逐渐将混联式混合动力汽车列为开发重点。混联方式是相对比较完善的一种混合动力系统，它能较好地将燃油汽车与电动汽车的优点有机地统一起来，也将燃油汽车和电动汽车的技术力量统一起来。电池的体积、重量、成本较低，发动机总在最高效率下工作，具有很好的燃料经济性，加速性和平稳性也很好，充分发挥了串联式和并联式的优点，同时能够有效地弥补串联式和并联式混合动力汽车的缺点。

2. 按使用用途分类

(1) 续驶里程延长型混合动力汽车。续驶里程延长型混合动力汽车一般由一个大容量的电池组和小型发电机组组成（主要针对小轿车而言），就是在纯电动汽车基础上增加了常规的辅助能量单元（APU），以提供额外的牵引功率或在需要时给电池充电。由于 APU 的油箱成了电池能量的补充，导致辅助动力单元续驶里程和驱动功率显著提高。

(2) 功率辅助型混合动力汽车。在常规内燃机驱动的汽车基础上增加了辅助电驱动和能量存储系统以优化能量的管理。这种车上的主要能源来自于内燃机带动的发电机组，故功率辅助型混合动力汽车一般由较大功率的发电机组和较小容量的电池组成（主要针对小轿车而言）。该系统既可以设计成串联系统也可以设计成并联系统，尤其适合并联系统。

3. 按电动机与内燃机的搭配比例分类

按照使用的电动机峰值功率与发动机额定功率的比值将混合动力汽车分为：微混混合动力电动汽车、轻混混合动力电动汽车、中混混合动力电动汽车、强混混合动力电动汽车，电动机峰值功率/发动机额定功率分别为： $\leq 5\%$ 、 $5\% \sim 15\%$ 、 $15\% \sim 40\%$ 、 $>40\%$ 。

(1) 微混混合动力电动汽车。代表的车型是 PSA 的混合动力版 C3 和丰田的混合动力版 Vitz。这种混合动力系统在传统内燃机上的启动电动机（一般为 12V）上加装了皮带驱动启动电动机（也就是常说的 Belt-alternator Starter Generator，简称 BSG 系统）。有时也叫“启-停混合（Start-Stop）”，依靠电动机的功率比例很小，车辆的驱动功率主要由内燃机提供，在微混混合系统中，电动机仅作为内燃机的启动机/发电机使用。

① 在微混混合系统中，电动机仅作为内燃机的启动机/发电机使用，其工作模式是：如遇红灯或交通阻塞等情况车辆需短时停车怠速时，使内燃机熄火取消怠速，而当车辆再次行驶时，立即重新启动内燃机，以及在滑行及制动时转变为发电机，实现制动能量回收。

② 微混合系统是串联的，所以可实现 $5\% \sim 10\%$ 的节油效率。

(2) 轻混混合动力电动汽车。代表车型是通用的混合动力皮卡车。该混合动力系统采用了集成启动电动机系统（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启动和停止外，还能够实现：①在减速和制动工况下，对部分能量进行吸收。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,一般为1%~15%;Honth公司的Insight和Civic Hybrids是典型的轻混混合动力电动汽车。

(3) 中混混合动力电动汽车。本田旗下混合动力的Insight、Accord和Civic都属于这种系统。该混合动力系统同样采用了ISG系统。与轻度混合动力系统不同,中混混合动力系统采用的是高压电动机。另外,中混混合动力系统还增加了一个功能:在汽车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,从而更好地提高整车的性能。这种系统的混合程度较高,可以达到30%左右,技术已经成熟,应用广泛。

(4) 强混混合动力电动汽车。与中混混合系统相比,驱动车辆的两种动力源中依靠电动机功率的比例更大,内燃机功率的比例更小。强混合车辆,电动机和内燃机都可以独立或一同驱动车辆,因此在低速、缓加速行驶(因交通堵塞频繁起步与停车)、车辆起步行驶和倒车等情况下,车辆可以纯电动行驶;急加速时电动机和内燃机一起驱动车辆,并有制动能量回收的能力。Toyota Prius、Ford Escape Hybrid和LexusRX400h等均为强混合动力汽车。试验工况下的节油达30%~50%,但实际节油效果随车辆结构设计、行驶工况、开车操作细节而变化。

混合动力汽车的分类方法也可以按照串并联混合化的不同、混合动力传动系统的复杂程度等进行更细致的分类。

1.1.4 动力融合技术

为了进一步区别各种混合动力电动汽车的设计方式,有时需要使用新的术语。术语“POWERSPLIT”用来描述电动机和内燃机的能量输出融合在一起的设计方式,通常这两种能量在变速箱中融合,如图1-4所示。

在典型的POWERSPLIT设计中,电动机速度通常决定了输出比,这种类型的变速箱称为电动无级变速箱(EVT)。POWERSPLIT还可进一步细分为输入分离(INPUT-SPLIT)、输出分离(OUTPUT-SPLIT)以及组合分流(SOMPOUND-SPLIT)模式,如图1-5所示。

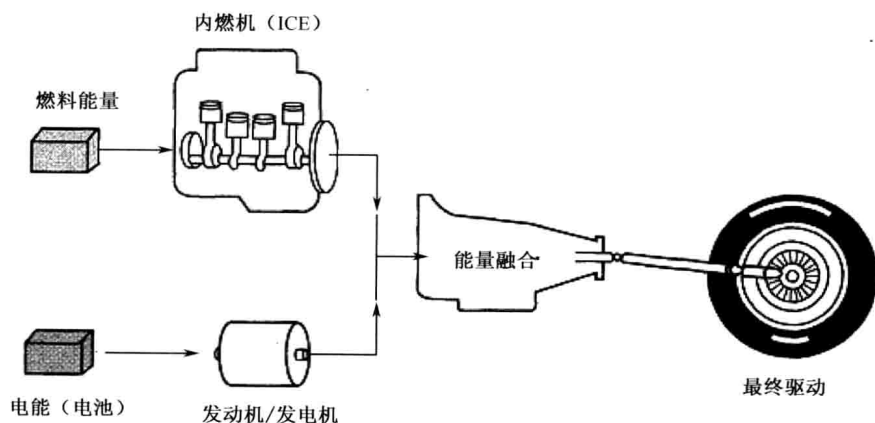


图 1-4 POWERSPLIT 混合动力系统设计方式