

■ 张金柱 主编 ■

# 混合动力汽车 结构、原理与维修

HUNHE DONGLI QICHE  
JIEGOU YUANLI YU WEIXIU

**第二版**

The Second Edition



化学工业出版社

张金柱 主编

# 混合动力汽车 结构、原理与维修

HUNHE DONGLI QICHE  
JIEGOU YUANLI YU WEIXIU

**第二版**

The Second Edition



化学工业出版社

· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

混合动力汽车结构、原理与维修/张金柱主编. —2版.  
北京: 化学工业出版社, 2011.8  
ISBN 978-7-122-11085-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 069998 号

---

责任编辑: 周 红  
责任校对: 王素芹

文字编辑: 项 澈  
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: 北京市兴顺印刷厂  
850mm×1168mm 1/32 印张 12 字数 333 千字  
2011 年 8 月北京第 2 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

# 前言



混合动力汽车将两种或更多种能量的转换技术（如发动机、燃料电池、发电机）和一种或多种能量存储技术（如燃料、电池、超级电容器、飞轮）集于一体。这种混合了传统和电动的驱动系统能够明显减少汽车尾气排放和降低油耗。在结构上，混合动力汽车与传统的汽油机或柴油机汽车有很大不同，如丰田普锐斯（PRIUS）的动力系统采用 500V 的高压电，没有无传统的机械变速器或自动变速器，没有怠速运转工况，采用电驱动空调压缩机、电动水泵等。这些新技术、新结构给用户带来全新的感觉，也给维修和销售等相关从业人员带来新的挑战。

混合动力汽车进入我国市场时间短，保有量相对较少，许多人对混合动力汽车不甚了解。图书市场上，有关混合动力汽车方面的书籍很少。为了让更多的人，特别是让使用和维修混合动力汽车的人员，对混合动力汽车有所了解，特编写了本书。本书以目前最流行的丰田普锐斯混合动力汽车为例，阐述混合动力汽车的结构、原理与维修。

本书第一版自 2008 年 1 月出版以来，受到读者广泛好评。为把近年来混合动力汽车发展的一些新知识补充到本书中，故对本书加以修订。第二版基本保留了第一版的结构与框架，主要对以下几方面内容进行了修改：

- （1）修改混合动力汽车新的分类方法、控制策略；
- （2）新增对可外接充电式混合动力汽车的介绍；
- （3）新增对第三代丰田普锐斯的介绍；
- （4）新增对普锐斯汽车制动控制系统和电子动力转向系统维修的介绍。

全书内容共由 4 章组成，第 1 章为概述，主要介绍混合动力汽车的组成与分类。第 2 章主要介绍混合动力汽车的结构与工作原理。第 3 章详细介绍普锐斯混合动力汽车的结构与工作原理。第 4

章以普锐斯混合动力汽车为例，介绍混合动力汽车的故障诊断与维修。

本书可作为学习和掌握混合动力汽车结构、工作原理和维修的入门书籍，也适合从事汽车维修、销售和技术管理等工作的人员阅读。

本次由黑龙江工程学院张金柱教授主编，王悦新博士编写第1章，孙远涛实验师编写第2章，张金柱编写第3、4章，全书由韩玉敏教授主审。原书自2008年出版以来，受到了读者的欢迎，也得到哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目（单轴并联式混合动力客车控制器的研发，编号2010RFXXG001）的资助，在此表示衷心感谢。

由于本书所涉及的技术内容较新，范围较广，且作者水平有限，因此书中难免有不妥之处，恳请读者不吝指正。

编 者

# 目 录

## CONTENTS



### 1 第 1 章 概述

PAGE

1

|     |             |    |
|-----|-------------|----|
| 1.1 | 国内外混合动力汽车   | 3  |
| 1.2 | 混合动力汽车的主要组成 | 6  |
| 1.3 | 混合动力汽车的分类   | 7  |
| 1.4 | 混合动力汽车的控制系统 | 12 |

### 2 第 2 章 混合动力汽车的结构与工作原理

PAGE

16

|       |                |    |
|-------|----------------|----|
| 2.1   | 典型混合动力汽车结构     | 16 |
| 2.1.1 | 串联式混合动力汽车      | 16 |
| 2.1.2 | 并联式混合动力汽车      | 20 |
| 2.1.3 | 混联式混合动力汽车      | 31 |
| 2.2   | 混合动力汽车的发动机     | 38 |
| 2.2.1 | 汽油发动机          | 38 |
| 2.2.2 | 柴油发动机          | 43 |
| 2.2.3 | 发动机的控制目标       | 45 |
| 2.3   | 混合动力汽车的电动机     | 47 |
| 2.3.1 | 直流电动机          | 50 |
| 2.3.2 | 交流电动机          | 52 |
| 2.3.3 | 永磁电动机          | 52 |
| 2.3.4 | 开关磁阻电动机        | 63 |
| 2.3.5 | 电动机的控制系统       | 67 |
| 2.4   | 混合动力汽车的蓄电池     | 77 |
| 2.4.1 | 蓄电池的性能指标       | 79 |
| 2.4.2 | 铅酸蓄电池          | 82 |
| 2.4.3 | 镍-镉 (Ni-Cd) 电池 | 84 |

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 2.4.4 | 镍-氢 (Ni-MH) 电池 | 87  |
| 2.4.5 | 锂离子电池          | 92  |
| 2.4.6 | 蓄电池的管理系统       | 98  |
| 2.5   | 可外接充电式混合动力汽车   | 103 |
| 2.5.1 | PHEV 的优势       | 104 |
| 2.5.2 | PHEV 的电池组工作模式  | 104 |
| 2.5.3 | PHEV 的工作原理     | 105 |
| 2.5.4 | PHEV 的应用       | 106 |

### 3 **第 3 章** **普锐斯混合动力汽车的结构与工作原理** **PAGE** **111**

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 3.1   | 普锐斯混合动力汽车的技术特点     | 111 |
| 3.2   | 丰田混合动力系统           | 119 |
| 3.2.1 | 丰田混合动力系统的组成        | 119 |
| 3.2.2 | 丰田混合动力系统的工作原理      | 131 |
| 3.2.3 | 混合动力汽车控制系统         | 146 |
| 3.3   | 普锐斯混合动力汽车的发动机      | 164 |
| 3.3.1 | 发动机特点              | 164 |
| 3.3.2 | 发动机控制系统            | 166 |
| 3.3.3 | 发动机冷却系统            | 174 |
| 3.3.4 | 发动机软油箱             | 176 |
| 3.4   | 普锐斯混合动力汽车的电动机      | 178 |
| 3.5   | 普锐斯混合动力汽车的蓄电池      | 180 |
| 3.6   | 普锐斯混合动力汽车的底盘       | 185 |
| 3.6.1 | 普锐斯混合动力汽车的变速驱动桥    | 185 |
| 3.6.2 | 普锐斯混合动力汽车的制动控制系统   | 201 |
| 3.6.3 | 普锐斯混合动力汽车的电子动力转向系统 | 214 |
| 3.7   | 普锐斯混合动力汽车的空调系统     | 220 |

### 4 **第 4 章** **普锐斯混合动力汽车的维修** **PAGE** **236**

|     |             |     |
|-----|-------------|-----|
| 4.1 | 混合动力控制系统的维修 | 236 |
|-----|-------------|-----|

|       |                                  |     |
|-------|----------------------------------|-----|
| 4.1.1 | 混合动力控制系统维修注意事项                   | 236 |
| 4.1.2 | 混合动力控制系统简介                       | 238 |
| 4.1.3 | 混合动力系统的检查                        | 244 |
| 4.1.4 | 混合动力控制系统的故障诊断                    | 249 |
| 4.1.5 | 故障诊断实例                           | 257 |
| 4.1.6 | 混合动力系统的拆装                        | 272 |
| 4.2   | 发动机控制系统维修                        | 284 |
| 4.2.1 | 发动机维修注意事项                        | 284 |
| 4.2.2 | 发动机控制系统简介                        | 285 |
| 4.2.3 | 发动机控制系统的检查                       | 285 |
| 4.2.4 | 发动机控制系统故障诊断                      | 294 |
| 4.2.5 | DATA LIST/ACTIVE TEST (数据表/动态测试) | 302 |
| 4.2.6 | 发动机控制系统故障诊断实例                    | 306 |
| 4.3   | 混合动力电池系统维修                       | 317 |
| 4.3.1 | 混合动力电池系统简述                       | 317 |
| 4.3.2 | 混合动力电池系统检查                       | 322 |
| 4.3.3 | 蓄电池系统自诊断系统                       | 326 |
| 4.3.4 | 蓄电池系统故障诊断实例                      | 334 |
| 4.4   | 混合动力汽车底盘的维修                      | 337 |
| 4.4.1 | 混合动力变速驱动桥维修                      | 337 |
| 4.4.2 | 混合动力制动控制系统维修                     | 356 |
| 4.4.3 | 混合动力汽车的电动转向系统维修                  | 366 |

|      |     |
|------|-----|
| 参考文献 | 370 |
|------|-----|



# 第1章 概述

汽车已与人们的日常生活和生产密不可分。然而众多燃油汽车排放所造成空气质量的日益恶化和石油资源的渐趋匮乏，使开发低排放、低油耗的新型汽车成为当今汽车工业界的紧迫任务。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（EV）、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相抗衡。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。燃料电池汽车具有极高的效率、低排放、低噪声，其甲醇燃料有广泛的来源，并可再生等重大优势，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。

混合动力汽车（HEV 或 HV），是在一辆汽车上同时配备电力驱动系统（traction motor）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。将产生动力的部件与电能储存元件以不同的方式结合起来，可以形成不同类型的混合动力汽车。简而言之，混合动力汽车就是将

传统的内燃机、电力驱动装置和储能装置结合在一起，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）具有如下优点：

- ① 可以最大限度发挥内燃机汽车和纯电动汽车的双重优点；
- ② 由于有原动机作为辅助动力，电池的数量和重量可减少，因此汽车自身重量可以减轻；
- ③ 辅助动力单元的选用使汽车的续驶里程和动力性能可以达到与内燃机汽车相当的水平；
- 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，不需要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）则具有如下优点：

- ① 虽然内燃机会有排放产生，但由于其排量小，主要工作在最佳工况点附近，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、居民区和游览区等地，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。

混合电动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 国内外混合动力汽车

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 美国 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HEV技术。1994年ARPA项目投资已增加到4600万美元。1993年和1996年,美国能源部分别与通用汽车公司、福特汽车公司和克莱斯勒汽车公司签订了总额达3.61亿美元的混合动力汽车系统开发子合同。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,也在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年开发出了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特 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”ESX2 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 日本 丰田汽车公司是全世界第一台正式批量生产的混合动力车的制造者, 自 1997 年开始, 普锐斯 (Prius) 就开始在日本销售, 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 Estima 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字仪式, 共同生产丰田普锐斯混合动力轿车。

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 Highlander 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 1.8L 4 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，转矩则达到  $142\text{N} \cdot \text{m}$ ，比旧款增加  $31\text{N} \cdot \text{m}$ ，加上电动机动力整车最大功率为 134 马力，低速转矩进一步提升，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 1s，仅需 9.8s。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 1.6km；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 10000 辆，远远超出当初制定的销售计划。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 35km 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出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燃料费降低一半，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。三菱电机公司也开发出轻型串联式混合动力卡车。

③ 欧洲 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 10000km 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 7kW 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 90km。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。截至 2005 年,国内已有几个单位试制出了混合动力汽车的样车,如广州市电车公司开发了混合动力公共汽车;华南理工大学与广东云山汽车厂也合作开发了一种中巴混合动力汽车;2002 年奇瑞汽车公司试装成功中国首辆 CAN 网络系统混合动力轿车,并进行了初步试运行;东风汽车公司新一代环保节能混合动力轿车和公交车于 2005 年在武汉投入批量生产;长安汽车公司的混合动力汽车“羚羊”也于 2005 年投入批量生产。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。

## 1.2 混合动力汽车的主要组成

混合动力汽车的主要组成包括发动机、电动机和电池。

### (1) 发动机

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

动力汽车。

## (2) 电动机

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,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汽车。

## (3) 电池

混合动力汽车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”,一般电池是作为混合动力汽车的辅助能源,只有在混合动力汽车用电动机启动发动机或电动机辅助驱动时才使用。

# 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、并联式和混联式3种组合方式,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。

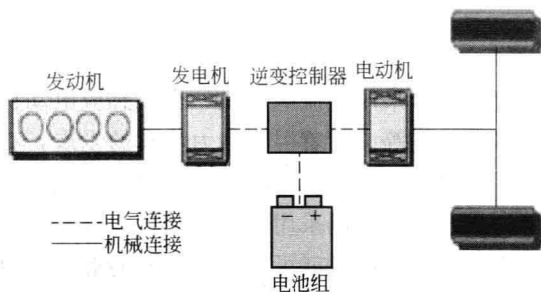


图 1-1 串联式混合动力驱动系统示意图

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，可使汽车的油耗和排污降低。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。

② 并联式混合动力驱动系统（PHEV） 并联式混合动力驱动系统示意图如图 1-2 所示，汽车可由发动机和电动机共同驱动或各自单独驱动。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，

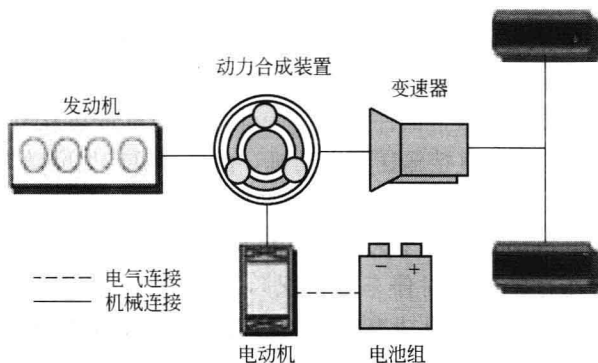


图 1-2 并联式混合动力驱动系统示意图

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，因此不适于汽车行驶工况变化较多、较大的路况。相比串联式结构形式，需要变速装置和动力复合装置，传动机构较为复杂。

③ 混联式混合动力驱动系统（PSHEV） 混联式混合动力驱动系统是串联式与并联式的综合，其示意图如图 1-3 所示。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。

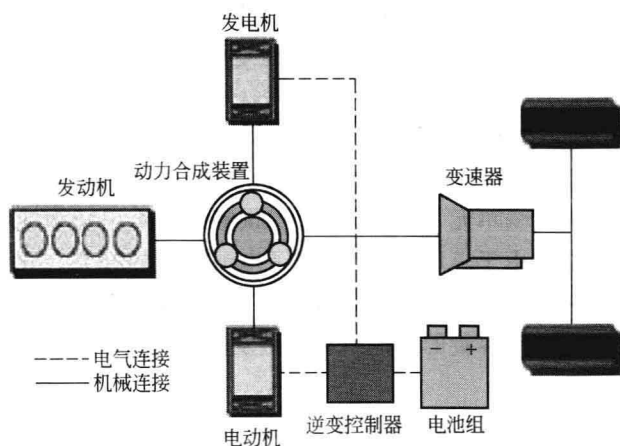


图 1-3 混联式混合动力驱动系统示意图

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