



"十二五"国家重点图书出版规划项目
新能源汽车研究与开发丛书

混合动力 电动汽车技术

HUNHE DONGLI
DIANDONG QICHE JISHU

赵航 史广奎 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

新能源汽车研究与开发丛书

混合动力电动汽车技术

赵 航 史广奎 编著



机械工业出版社

本书主要讲述了混合动力汽车的分析与设计、混合动力总成的基本构型及应用、混合动力汽车能量管理控制策略、动力电池及其管理系统技术、电机驱动系统、混合动力汽车其他相关技术、混合动力汽车的标准与测试技术等内容,全面论述了油电混合动力电动汽车的性能、配置、控制策略、设计分析等方面的知识。本书可供汽车行业的技术研究人员参考阅读,也可作为高等院校电动汽车相关专业的专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

混合动力电动汽车技术/赵航,史广奎编著. —北京:
机械工业出版社, 2012. 5
(新能源汽车研究与开发丛书)
ISBN 978-7-111-38045-0

I. ①混… II. ①赵…②史… III. ①混合动力汽车—
电动汽车—基本知识 IV. ①U469.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 069804 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:何士娟 责任编辑:何士娟

责任校对:姜婷 封面设计:马精明

责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 16.5 印张 · 320 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38045-0

定价: 58.00 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

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

面对能源和环保压力，很多国家都把发展节能与新能源汽车提升至国家战略高度。以丰田、本田、通用为代表的多种混合动力汽车的成功量产，标志着新兴汽车产业已经初步形成以混合动力汽车为主导的格局。可以预见，随着油耗标准越来越严，油价越来越高，今后的大多数车型都将走上混合动力这条路，这是传统汽车发展的自然选择。

编者从2003年开始系统研究混合动力汽车技术，当年构思了两种新型混联混合动力总成布置方案，即双转子电机混合动力系统和双行星排混合动力系统。2004年研制出国内第一台双转子电机混合动力总成样机。此后以双转子电机混合动力总成为测试平台，重点研究重度混联混合动力系统控制策略。而双行星排混合动力系统的研发则进展缓慢，直到2006年行星轮加工问题得到解决后，才把研发重点转移到双行星排混合动力总成及其控制方法上。2008年成功试制出国内第一台双行星排混合动力总成样机，2009年在SUV上实现装车运行，2010年获得国家发明专利授权。2010年，又开发出了用于大客车的双行星排混合动力总成，并成功应用在深度混合动力客车上，同时《深度混合动力客车产业化和动力系统平台建设》被列为国家“十二五863计划重大项目”。2011年，混合动力客车用双行星排混合动力总成实现小批量生产。

以上产品研究和开发经历，让我们深刻体会到我国混合动力汽车与国外的技术差距，国内产品以串联、并联结构为主，几乎都以变速器或离合器作为动力耦合机构，电机、电池、电控技术亟待提高，动力耦合方式和专用自动变速器技术有待突破，这些问题得不到解决，我国混合动力汽车将面临被跨国公司垄断核心技术风险。有鉴于此，本书对国外最具代表性的混合动力汽车共性关键技术进行了系统分析，加上编者的研究成果和产品开发经验，构建了比较系统的混合动力汽车知识体系。希望本书能够对企业在混合动力汽车产品定位、结构方案选择以及产业化实施方面，起到促进相关技术发展的作用。

在本书撰写过程中，参考了许多文献资料，并得到了项目组全体成员的帮助，在此对他们表示衷心的感谢。

由于本书专业涉及面较广，研究对象又是国外企业高度保密的核心技术，限于编者水平，会有许多疏漏、错误与不足之处，希望得到同行与读者的批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 混合动力汽车简介	1
1.2 混合动力汽车发展简史	1
1.3 混合动力系统的分类	2
1.3.1 按混合方式分类	2
1.3.2 按混合度分类	5
1.3.3 依据动力耦合系统数学模型分类	7
1.4 混合动力汽车的控制策略	9
1.5 混合动力汽车的关键技术	10
1.6 混合动力汽车的发展现状	12
参考文献	14
第2章 混合动力汽车的分析与设计	15
2.1 混合动力汽车的节能机理	15
2.2 整车功率匹配的基本原则	17
2.3 并联混合动力汽车动力总成的设计原理	19
2.3.1 并联式混合动力汽车动力总成的结构型式分析	19
2.3.2 并联式混合动力汽车总成的匹配原则	19
2.3.3 参数设计实例分析	24
2.4 串联混合动力汽车动力总成的设计原理	32
2.4.1 串联式混合动力汽车动力总成的结构型式分析	32
2.4.2 串联混合动力汽车动力总成的匹配原则	33
2.4.3 参数设计实例分析	33
2.5 混联式混合动力汽车动力总成的设计原理	36
2.5.1 混联式混合动力汽车动力总成的结构型式分析	36
2.5.2 混联式混合动力汽车动力总成的匹配原则	36
参考文献	40



第3章 混合动力总成的基本构型及应用	42
3.1 行星排轮系传动的理论基础	42
3.1.1 行星排轮系动力学分析	42
3.1.2 行星排轮系杠杆模拟建模方法	44
3.2 丰田普锐斯汽车混合动力系统	45
3.2.1 普锐斯汽车混合动力系统简介	45
3.2.2 普锐斯汽车混合动力系统的主要构成部件与功能	47
3.2.3 普锐斯汽车混合动力系统的工作过程	48
3.3 CHS 混合动力系统	52
3.3.1 CHS 混合动力总成的基本结构	52
3.3.2 CHS 系统的工作过程	54
3.3.3 CHS 混合动力系统的特点和测试结果	56
3.4 双转子混合动力系统	58
3.4.1 双转子混合动力系统的技术方案和工作过程	58
3.4.2 内电机的冷却	63
3.4.3 发动机工作点的选择	64
3.5 本田 IMA 混合动力系统	64
3.5.1 IMA 混合动力系统的基本构成	65
3.5.2 IMA 系统的工作过程	67
3.6 通用双模混合动力系统	68
3.6.1 双模混合动力系统动力传动模型分析	69
3.6.2 双模混合动力系统的工作过程	76
3.6.3 双模混合动力系统的特点	77
3.7 双离合变速器在混合动力系统中的应用	78
3.7.1 双离合变速器的发展历史	78
3.7.2 双离合变速器特点	78
3.7.3 DSG 变速器的结构	79
3.7.4 DSG 变速器的工作过程	80
3.7.5 IAV 双离合混合动力变速器	81
3.7.6 6HDT250 双离合混合动力变速器	82
参考文献	83
第4章 混合动力汽车能量管理控制策略	85
4.1 混合动力总成的控制策略	85
4.2 混合动力总成控制系统的结构方案设计	86



4.2.1	控制系统硬件结构方案设计	86
4.2.2	控制系统软件的结构方案设计	87
4.3	转矩输出指令子程序	89
4.4	并联混合动力总成的控制算法	90
4.4.1	限制发动机工作区间的控制算法	90
4.4.2	调节发动机工作区间的控制算法	96
4.5	串联混合动力总成的控制算法	104
4.5.1	电动机的输入输出指令子程序	104
4.5.2	发动机-发电机组的状态控制子程序	106
4.5.3	发动机-发电机组的输出指令子程序	107
4.6	混联混合动力总成的控制算法	108
4.6.1	耦合方式分析	109
4.6.2	整车控制模式控制程序	109
4.7	控制策略的优化算法	111
4.7.1	瞬时优化控制策略	111
4.7.2	智能控制策略	112
4.7.3	全局最优控制策略	113
	参考文献	114

第5章	动力电池及其管理系统技术	115
5.1	车用电池技术研究现状	115
5.1.1	锂离子电池的工作原理	117
5.1.2	车用动力电池的要求	118
5.1.3	电池模型	119
5.1.4	车用动力电池的发展现状和趋势	121
5.1.5	锂离子电池系统存在的技术难题	123
5.2	动力电池管理系统研究现状	125
5.2.1	BMS的发展历程	125
5.2.2	BMS的功能要求	127
5.2.3	BMS的研究现状	129
5.2.4	BMS存在的问题	130
5.3	动力电池管理系统的核心技术	133
5.3.1	BMS的组成	133
5.3.2	电池SOC估计	135
5.3.3	电池SOH估计	139
5.3.4	电池安全技术	140



5.3.5 电池热管理技术	141
5.3.6 故障诊断技术	143
5.3.7 锂电池充电技术	145
5.3.8 电池均衡技术	147
5.3.9 BMS 硬件方案设计	150
5.4 动力电池及管理系统的测试与评价	151
5.4.1 锂离子动力电池测试概况	151
5.4.2 国内电池测试技术概况	156
5.4.3 电池管理系统测试与评价	160
参考文献	164
第6章 电动汽车电机驱动系统	167
6.1 电动汽车电机驱动系统概述	167
6.1.1 电机共性知识	167
6.1.2 电动汽车电机驱动系统要求	174
6.2 电动汽车电机驱动系统与设计	175
6.2.1 直流电机驱动系统	175
6.2.2 感应电机驱动系统	177
6.2.3 永磁无刷电机驱动系统	182
6.2.4 开关磁阻电机驱动系统	185
6.2.5 适于磁场调节的新型永磁同步电机	187
6.2.6 电机驱动系统设计	191
6.3 电动汽车电机驱动系统的标准与测试	194
6.3.1 电动汽车电机驱动系统技术条件	195
6.3.2 电动汽车电机驱动系统测试	196
参考文献	197
第7章 混合动力汽车其他相关技术	199
7.1 电动助力转向系统	199
7.1.1 EPS 系统简介	199
7.1.2 EPS 系统的助力方式	200
7.1.3 EPS 系统助力电机及减速机构	201
7.1.4 EPS 系统的电子控制单元	202
7.1.5 EPS 系统的控制策略	203
7.2 电动液压助力转向系统	205
7.2.1 EPHS 系统的动力单元	205



7.2.2	EPHS 系统的控制阀	206
7.2.3	EPHS 系统的控制策略	207
7.3	电液复合制动系统技术	209
7.3.1	电液复合制动技术介绍	209
7.3.2	复合制动系统的功能需求和特点	210
7.3.3	电液复合制动系统中电回馈制动的控制策略	211
7.3.4	丰田公司的电液制动系统	219
7.4	混合动力汽车的电源转换装置	221
7.4.1	DC/DC 功率转换器的功用	222
7.4.2	双向 DC/DC 功率转换器的应用	222
7.4.3	DC/DC 功率转换器的分类	223
7.4.4	其他类型的功率转换器	224
7.5	电动空调系统	224
7.5.1	电动空调系统的特点	224
7.5.2	电动汽车热泵式空调系统	224
7.5.3	电动压缩机制冷与电加热器制热混合调节空调系统	225
7.5.4	电驱动压缩机系统	226
7.6	阿特金森循环及其应用	227
7.6.1	阿特金森循环的工作原理	227
7.6.2	阿特金森循环的特点及措施	228
7.6.3	阿特金森循环在普锐斯汽车发动机上的应用	229
7.6.4	普锐斯汽车发动机的其他节能技术	230
7.7	电机及其控制器冷却	230
7.7.1	电机及其控制器的冷却方式	231
7.7.2	电机及其控制器的一体化冷却方案	231
7.7.3	混合动力汽车散热器的总成布置	232
7.7.4	普锐斯汽车的电机冷却系统	233
	参考文献	233
第 8 章 混合动力汽车的标准与测试技术		235
8.1	我国电动汽车标准体系结构	235
8.1.1	电动汽车需要执行的标准和检验项目	237
8.1.2	传统汽车标准的适用性	238
8.1.3	我国电动汽车标准的发展目标	239
8.2	美国电动汽车标准概况	240
8.2.1	SAE 混合动力汽车标准	240



8.2.2 SAE 蓄电池标准	241
8.2.3 SAE 燃料电池汽车标准	242
8.2.4 SAE 其他标准	243
8.2.5 美国电动运输协会标准	243
8.2.6 美国汽车安全技术法规	244
8.3 日本电动汽车标准概况	244
8.4 欧洲电动汽车标准概况	247
8.5 国际标准化组织的电动汽车标准	248
8.6 国际电工委员会制定的电动车辆标准	249
8.7 评价测试方法	250
8.8 HEV 测试指标	251
参考文献	254

第 1 章 绪 论

1.1 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。在没有特别说明的情况下，本书所述混合动力汽车指的是油电混合动力电动汽车。

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) 在车辆频繁起停的繁华市区，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。

1.2 混合动力汽车发展简史

混合动力汽车已有 100 多年历史。1902 年 Lohner Porsche 造出了第一辆混合动力汽车，1905 年 H. Piper 在美国申请了混合动力汽车专利，随后有多种混合动力汽车推出，但是一直没有量产。20 世纪 70 年代，由于阿拉伯石油的大量开采，导致混合动力汽车的研发基本停滞，直到 20 世纪 90 年代初，混合动力汽车发展仍非常缓慢。之后，随着石油价格的不断攀升，电动汽车和混合动力汽车的研究又重新受到了重视。

1997 年，第一款量产的混合动力汽车—丰田普锐斯(Prius)被推向市场，当



年售出约 18000 辆。1999 年，本田公司的混合动力双门微型车 Insight 在美国市场推出。2007 年，美国市场销售混合动力汽车超过 30 万辆，成了美国汽车市场的一大亮点。截至 2007 年 5 月，丰田普锐斯混合动力汽车全球累计销售突破 100 万辆，到 2011 年 2 月底突破了 300 万辆。

目前，节能与新能源已经初步形成以油电混合动力汽车为主导的格局。丰田、本田汽车公司在这个领域不仅获得了商业利益，也收获了环保节能的美誉。对于中国汽车工业来说，混合动力汽车的研发应该是当务之急。混合动力汽车特别适合交通拥堵的城市，在汽车制动频繁的路况，节能减排的效果可以得到充分发挥。因此，随着油价不断攀升，道路拥堵问题越来越突出，市场对混合动力汽车的需求会非常迫切。

1.3 混合动力系统的分类

混合动力系统有多种分类方式。依据混合方式不同，混合动力系统可以分为串联、并联和混联三种类型；依据混合程度不同，混合动力系统还可以分为弱混合动力、轻度混合动力、中度混合动力、重度混合动力、插电混合动力五类；依据动力耦合系统数学模型，可分为转矩耦合、转速耦合和功率耦合三种基本类型。当然还有其他分类方法，本书只对上述三种分类进行简要分析讨论。

2

1.3.1 按混合方式分类

根据混合动力驱动的混合方式，混合动力汽车主要分为串联、并联和混联三类。

1. 串联式混合动力汽车 (Series Hybrid Electric Vehicle, SHEV)

如图 1-1 所示，串联式混合动力系统由发动机、发电机、电机控制器、电动机、动力电池、主减速器、驱动轮组成。

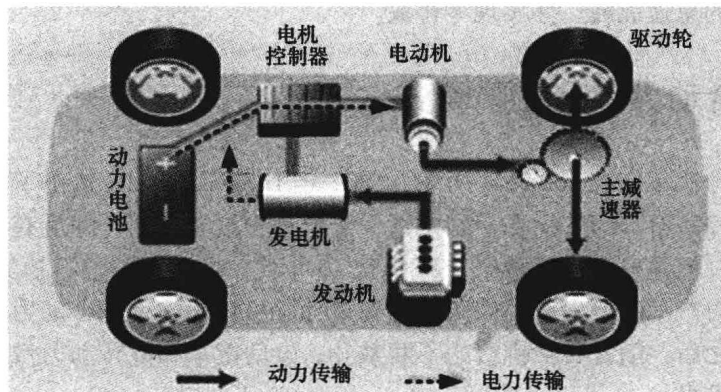


图 1-1 串联式混合动力系统



机和动力电池组成。发动机带动发电机发电，所产生的电能通过电机控制器提供给电动机，再由电动机转化为动能后驱动车辆。动力电池对在发电机产生的电能和电动机需要的电能之间进行调节，从而保证车辆在各种行驶工况下的功率需求。串联式混合动力系统的特点是通过电方式实现动力耦合，电机控制器也是动力耦合器。系统中有两个电源，即动力电池和发电机，这两个电源通过电机控制器串联在回路中，动力的流向为串联，所以称为串联式混合动力系统。

(1) 串联方式的工作模式 串联式混合动力系统主要应用于城市公交车，节油率可以达到 20% 左右。该系统可以实现以下工作模式：

1) 纯电驱动模式：发动机关闭，车辆驱动能量完全来自动力电池，该模式主要用于车辆低速行驶和倒车工况。

2) 纯发动机驱动模式：车辆驱动能量来自发动机，经发电机、电机控制器、电动机进行能量转换后驱动车辆。动力电池既不提供能量也不接受能量，该模式主要用于车辆中速和高速行驶工况。

3) 混合驱动模式：车辆驱动能量同时来自发动机和动力电池，发电机发出的电能和电池提供的电能由电机控制器实现耦合，共同输送给电动机，该模式主要用于车辆加速和爬坡行驶工况。

4) 发动机驱动和电池充电模式：来自发动机的机械能由发电机转化成电能后，由电机控制器分配能量，一部分输送给电动机用于驱动车辆，另一部分给动力电池充电，该模式主要用于车辆低负荷行驶且电池 SOC 较低的工况。

5) 回馈制动模式：发动机关闭，电动机以发电形式工作，把来自车轮的动能转化为电能，通过电机控制器给动力电池充电，该模式主要用于车辆制动和下坡工况。

6) 电池充电模式：电动机不接受能量，由发电机把来自发动机的机械能转化为电能，通过电机控制器给动力电池充电，该模式主要用于车辆静止且电池 SOC 较低的工况。

(2) 串联方式的优点

1) 发动机和驱动轮之间没有机械连接，因此发动机可以工作在其速度-转矩图的任何点上。通过车辆的驱动功率需求，可以控制发动机总是工作在最低油耗区；在这个区域内，发动机的效率和排放可以通过特殊设计和控制技术得以进一步提高。

2) 由于电动机的速度-转矩特性非常适合汽车牵引需求，驱动系统可以不再需要多档位的变速器，使得驱动系统结构得以简化；另外如果在两个驱动轮上各使用一个轮毂电机，就可以去掉机械差速器，实现两个车轮间的解耦；还可以实现 4 个车轮各使用一个轮毂电机，这样每个车轮的速度和转矩就可以实现独立控制，从而提高车辆的机动性。



3) 与其他的布置方式相比, 由于发动机和驱动轮之间实现了完全的机械解耦, 动力总成的控制策略简单。

(3) 串联方式的缺点

1) 发动机产生的能量经过两次能量转换才到达驱动轮, 能量损失多, 效率低。

2) 发电机的使用增大了车辆质量和成本。

3) 由于电动机是驱动车辆的动力源, 为满足车辆的加速和爬坡性能要求, 其尺寸较大。

2. 并联式混合动力汽车(Parallel Hybrid Electric Vehicle, PHEV)

如图 1-2 所示, 并联式混合动力系统由发动机、变速器、电机、电机控制器和动力电池组成, 其中电机既可作为电动机使用, 也可作为发电机使用。采用并联式混合动力系统的汽车有两个独立的驱动系统, 即传统的发动机驱动系统和电机驱动系统。车辆驱动力由发动机和电机同时或单独供给, 也就是说, 两个动力系统既可以同时协调工作, 也可以各自单独工作来驱动汽车。两个动力系统同时工作时, 以机械方式实现动力耦合, 动力的流向为并联, 所以称为并联式混合动力系统。

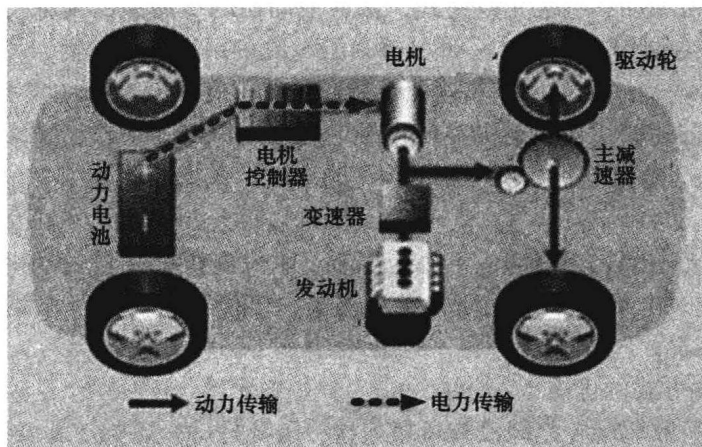


图 1-2 并联式混合动力系统

并联式混合动力系统应用较多, 在各种车型上都有应用, 其中节油率方面采用由带传动的发电起动一体式电机(Beltdriven Starter Generator, BSG)的汽车可以达到 5%、采用集成起动电机(Integrated Starter Generator, ISG)的汽车为 15%、公交车为 25% ~ 30%。在串联方式中提到的各种工作模式在并联结构中都可以实现。

(1) 并联方式的优点



- 1) 发动机的动力可以直接用来驱动车辆，没有能量转换，能量损失小。
- 2) 一个电机既可作为电动机使用，也可作为发电机使用，且可以采用较小功率的电机，成本低。

(2) 并联方式的缺点

- 1) 发动机和驱动轮间还是机械连接，因此发动机的工作点不可能总处于最佳区域，发动机效率得不到充分发挥。
- 2) 需要搭载变速器，且适合搭载自动变速器。
- 3) 混合度较低，不便于向插电式混合动力过渡。

3. 混联式混合动力系统(Series/Parallel Hybrid Electric Vehicle)

如图 1-3 所示，混联式混合动力系统由发动机、动力分配机构、发电机、电机控制器、电动机和动力电池组成。发动机的动力经过动力分配器后分成两部分，一部分直接驱动车辆，形成机械传输通道；另一部分带动发电机发电，所产生的电能通过电机控制器提供给电动机驱动车辆，形成电力传输通道。通过调整发电机转速，可以控制机械传输通道和电力传输通道的动力分配比例。这个系统具有双重特征，一是电力传输通道和动力电池之间以电方式实现动力耦合，动力的流向为串联；二是机械传输通道和电动机之间以机械方式实现动力耦合，动力的流向为并联，所以称为混联式混合动力系统。

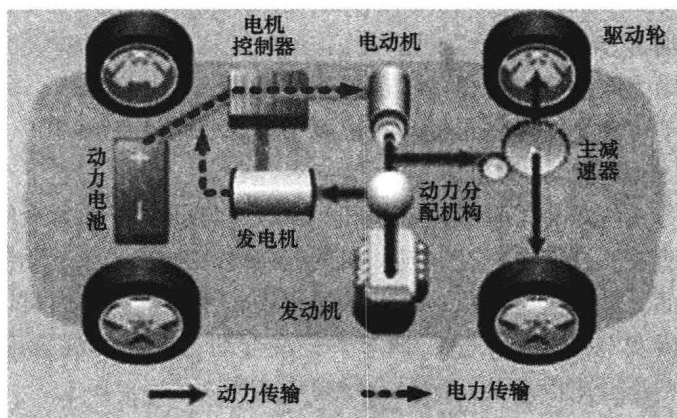


图 1-3 混联式混合动力系统

混联式混合动力系统吸收了串联式和并联式的优点，使两者的优势都能够得到发挥，其应用前景看好。在 NEDC 循环工况下，采用该方式汽车的节油率可达 40% 以上。

1.3.2 按混合度分类

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,可以分为以下五类:弱混合动力(也称微混合动力)、轻度混合动力、中度混合动力、重度混合动力(也称全混合动力,强混合动力)、插电式混合动力(Plug in Hybrid)。混合度不同,功能要求也有差别,具体见表 1-1,混合度指的是电系统功率 P_{elec} 占动力源总功率 P_{total} 的百分比,即

$$H = \frac{P_{\text{elec}}}{P_{\text{total}}} \times 100\%$$

表 1-1 不同混合度类型及功能列表

类 型	功 能 要 求
弱混合动力	发动机自动起停
轻度混合动力	发动机自动起停 + 回馈制动
中度混合动力	发动机自动起停 + 回馈制动 + 电动辅助
重度混合动力	发动机自动起停 + 回馈制动 + 电动辅助 + 纯电驱动
插电式混合动力	发动机自动起停 + 回馈制动 + 电动辅助 + 纯电驱动 + 电网充电

1. 弱混合(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起停一体式电机(BSG)。该电机用来控制发动机快速起停,因此可以取消发动机的怠速过程,降低了油耗和排放。弱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。在弱混合动力系统里,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起停电机(ISG)。与弱混合动力系统相比,轻混动力系统除了能够实现用电机控制发动机的起停外,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. 中度混合(中混)动力系统

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之处在于,中混动力系统采用的是高压电机,在汽车加速或者大负荷工况时,电动机能够辅助发动机驱动车辆,补充发动机本身动力输出的不足,提高整车性能。这种系统的混合程度较高,可以达到 30% 左右,在城市循环工况下节油率可以达到 20%~30%,目前技术比较成熟,应用广泛。本田汽车公司旗下的 Insight、Accord 和 Civic 混合动力汽车都属于这类系统。

4. 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。

5. 插电式混合动力系统

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。

1.3.3 依据动力耦合系统数学模型分类

依据混合动力汽车动力耦合系统所满足的数学模型不同, 混合动力系统可分为转矩耦合、转速耦合和功率耦合三种基本类型。下面先看一下动力耦合系统的数学模型定义。

动力耦合系统是指能使发动机(T_e, n_e)、电机(T_m, n_m)和动力输出(T, n)之间产生一定影响关系的机构, 如图 1-4 所示。

图中, T_{ei}, n_{ei} 为第 i 个发动机传递给耦合系统的转矩和转速; T_{mi}, n_{mi} 为第 i 个电机传递给耦合系统的转矩和转速($i = 1, 2 \dots N$); T, n 为动力耦合系统输出的转矩和转速。

按照上述定义, 可以归纳出动力耦合系统的转矩耦合条件和转速耦合条件。

转矩耦合条件: 存在两个不全为 0 的数列 $[\alpha_{e1}, \alpha_{e2} \dots \alpha_{eN}]$ 和 $[\alpha_{m1}, \alpha_{m2} \dots \alpha_{mN}]$, 满足 $T = \sum_{i=1}^N (\alpha_{ei} T_{ei} + \alpha_{mi} T_{mi})$, 且存在 $\alpha_{e\lambda}, \alpha_{m\gamma} \neq 0 (\lambda, \gamma \in \{1, 2 \dots N\})$, 使得 T

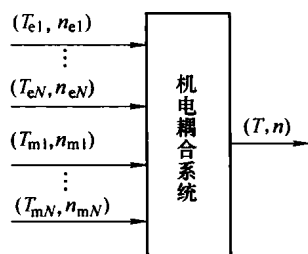


图 1-4 动力耦合系统示意图