



"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

电动汽车电驱动 理论与设计

DIANDONG QICHE DIANQUDONG
LILUN YU SHEJI

王志福 张承宁 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

新能源汽车研究与开发丛书

电动汽车电驱动 理论与设计

王志福 张承宁 等编著



机械工业出版社

本书较为全面地介绍了电动汽车电驱动系统的构成及控制方法等内容。全书分为十章,讲述了电动汽车的发展及其对驱动系统的要求,并着重介绍了电驱动系统的理论基础分析,参数设计与评估,在电动汽车中的应用方式、类型、特点及一般控制方法,电磁兼容性的一般性分析与设计,测试技术与实现及安全性分析,还讲述了与电驱动系统密切相关的辅助系统等内容。书中内容融入了编著者相关的研究成果和实际工作的总结,对于电动汽车驱动系统相关设计与研究具有较强的参考价值。

本书可供电动汽车设计相关专业的科技人员阅读,也可供高等院校相关专业师生参考应用。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车电驱动理论与设计/王志福,张承宁等编著.
—北京:机械工业出版社,2012.7
(新能源汽车研究与开发丛书)
ISBN 978-7-111-38595-0

I. ①电… II. ①王…②张… III. ①电传动汽车—
电动机—控制系统 IV. ①U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第114843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:申春香 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9月第1版第1次印刷

169mm×239mm·23.75印张·459千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38595-0

定价:73.80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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

电动汽车已经成为当前汽车产业发展的一大趋势，包括了纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电动汽车等类型。电动汽车的技术核心是同时关注动力性、安全性和经济性等内容，其关键技术包括了电驱动技术、能源技术、能量管理技术及汽车制造技术等多个方面。电驱动技术的不断发展和创新，为不同类型电动汽车的推广应用奠定了坚实的技术基础。本书基于目前电驱动系统的发展，全面阐述了电驱动系统的技术与发展研究。

全书分为十章。第一章简要介绍了电驱动系统对于电动汽车的作用及其发展；第二章结合电动汽车的动力学特性，分析了电动汽车电驱动系统的形式与结构，并阐述了电动汽车的力学关系；第三章结合电动汽车的动力性需求，介绍了电驱动系统的参数匹配原则与方法，并结合当前通用的工况对电动汽车驱动系统的评估方法和标准进行深入分析；第四章全面介绍了电驱动系统的结构形式，并分析了每种结构形式优缺点和作用原理；第五章和第六章分别针对电驱动系统的功率变换和驱动电机进行了详细阐述，介绍了常用的驱动电路结构与控制原理，分析了不同驱动电机的结构形式与应用，同时，对支撑电容器的设计与选用进行介绍。第七章简要介绍了电动汽车辅助系统，对电动助力转向、电动空调、电动汽车仪表系统进行了说明；第八章针对电驱动系统存在的电磁兼容性能进行了分析，对屏蔽、滤波等技术在电驱动系统中的应用进行了阐述；第九章结合目前电驱动系统的测试，对电驱动系统的各项测试和综合测试方法进行了阐述；第十章介绍了当前关注较多的电驱动系统安全问题，对漏电检测、储氢安全、碰撞安全等内容进行了阐述。

本书第一章和第六章由张承宁编写，第二章~第五章、第七章~第十章由王志福编写，同时实验室的田真、刘明春、吴晓鹏、韩光伟、周维、武小花以及叶辉萍等为本书提供了相关的参考资料并进行了部分的编写工作。

本书的完成过程中得到了国家自然科学基金项目(项目编号:51105032)的资助。本书的内容采用了实验室相关研究成果和科研内容，翟丽博士、李炯博士、王再宙博士、叶辉萍硕士等的研究成果为本书的内容增加了很多独有的内容，在此向他们表示衷心的感谢。

电动汽车技术涉及知识面广，既涉及传统汽车的知识，又涉及电、控制等方面的技术，发展迅速，由于作者水平有限，书中难免存在一些错误或不足之处，敬请广大读者批评指正(联系邮箱:wangzhifu@bit.edu.cn)。

编著者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 电动汽车	1
一、电动汽车发展的背景需求	1
二、电动汽车的种类及技术特点	3
三、电动汽车发展的关键技术	7
第二节 电机驱动系统	9
一、电机驱动系统的作用	9
二、电机驱动系统发展现状	9
三、电机驱动系统发展趋势	14
参考文献	16
第二章 电动汽车电驱动理论基础	18
第一节 电动汽车的构造与工作原理	18
一、电动汽车的构造	18
二、电动汽车电驱动系统的结构形式	21
第二节 电动汽车动力学	22
一、电动汽车受力分析	22
二、动力学方程	28
三、汽车行驶的附着条件与附着率	30
四、电动汽车的性能	32
参考文献	39
第三章 电动汽车电驱动系统的匹配与评估	40
第一节 电动汽车电驱动系统动力需求特性理论	40
一、驱动电机的特性	40
二、传动装置的特性	41
三、电动汽车动力性能分析	42
第二节 电动汽车电驱动系统参数匹配准则	44
一、电驱动系统的特性要求	44
二、电机参数匹配	44
三、传动装置参数匹配	46
第三节 电动汽车电驱动系统性能评估方法和标准	46



一、汽车行驶工况	46
二、电驱动系统评价标准	51
三、电驱动系统评估方法	52
参考文献	72
第四章 电动汽车电机驱动系统结构	73
第一节 单电机驱动系统	73
一、单电机驱动手动机械式变速器	73
二、单电机驱动电控机械式变速器	74
三、单电机驱动液力机械式自动变速器	77
四、单电机驱动无级式自动变速器	80
第二节 多电机独立驱动	82
一、电机与减速器组合式驱动系统	83
二、轮边电机驱动系统	83
三、轮毂电机驱动系统	84
第三节 多电机耦合驱动	85
一、多动力耦合系统	85
二、双电机耦合驱动	88
三、双机械端口电机	94
参考文献	96
第五章 电驱动控制技术	97
第一节 电力半导体器件	98
一、半导体 PN 结	99
二、不可控型开关器件	102
三、半控型开关器件——晶闸管	104
四、典型全控器件	108
第二节 电力半导体器件的驱动电路及保护	120
一、电力半导体器件的驱动电路	120
二、电力电子器件的保护	125
三、电力电子器件的串联和并联使用	127
第三节 整流电路	129
一、单相半波可控整流电路	129
二、三相半波可控整流电路	138
三、三相桥式全控整流电路	142
第四节 逆变电路	146
一、直流发电机-电动机系统电能的流转	146
二、逆变产生的条件	147



三、逆变失败与最小逆变角的限制	148
第五节 母线支撑电容器	150
一、支撑电容器的类型及特点	150
二、支撑电容器的选用与设计	158
参考文献	159
第六章 电动汽车电机驱动技术	161
第一节 电动汽车电机驱动系统概述	161
一、电动汽车电机驱动系统的种类及特点	161
二、电动汽车对驱动电机的性能要求	162
第二节 驱动电机	163
一、驱动电机的分类	164
二、直流电机	164
三、三相异步电机	169
四、永磁电机	172
五、开关磁阻电机	176
六、续流增磁永磁电机	179
第三节 交流异步电机控制算法	182
一、交流异步电机 $d-q$ 参考坐标系数学建模	182
二、交流异步电机 VVVF 控制	183
三、交流异步电机矢量控制	183
四、速度控制算法	191
五、效率最大化控制算法	194
第四节 永磁同步电机控制系统	195
一、永磁同步电机的矢量控制	195
二、永磁同步电机的直接转矩控制策略	199
第五节 开关磁阻电机控制系统控制算法	201
第六节 续流增磁电机控制策略	203
一、续流增磁电机控制原理	203
二、续流增磁电机控制	204
第七节 电动汽车驱动系统的发展方向	209
一、驱动电机的发展方向	209
二、驱动系统控制技术的发展方向	211
参考文献	213
第七章 电动汽车的辅助系统	215
第一节 电动汽车电动助力转向系统	215
第二节 电动汽车电动空调系统	219



一、电动空调系统概述	219
二、电动空调系统方案	220
三、电动压缩机及其驱动方式	221
四、其他电动空调产品	224
第三节 电动汽车驾驶人仪表系统	225
一、汽车仪表系统的发展过程	225
二、电动汽车用仪表系统	226
三、电动汽车仪表系统的发展趋势	228
参考文献	230
第八章 驱动系统电磁兼容	232
第一节 电磁兼容基本概念与术语	232
一、电磁兼容含义	232
二、现代汽车电磁兼容问题	232
第二节 电机驱动系统电磁骚扰源	234
一、电磁骚扰分类	235
二、自然骚扰源	236
三、车外骚扰源	238
四、车载骚扰源	239
第三节 电驱动系统电磁骚扰发生机理	241
一、放电噪声	241
二、感性负载的瞬变	242
三、功率电子瞬变	243
四、反射现象	245
五、电动汽车产生的典型的电磁骚扰源	247
第四节 电动汽车的车载电磁骚扰源	253
一、车用电机驱动系统	253
二、总线系统	256
三、DC/DC 变换系统	256
第五节 电驱动系统印制电路板电磁兼容	259
一、印制电路板的电磁兼容设计	259
二、印制电路板的布局	260
三、印制电路板的布线	261
第六节 屏蔽	262
一、电磁屏蔽的概念与分类	262
二、静电、电磁、磁场屏蔽原理	264
三、屏蔽体的设计	267



四、屏蔽技术在汽车上的应用举例	268
第七节 滤波	270
一、滤波器的特性与分类	270
二、反射式滤波器	271
三、吸收式滤波器	272
四、电源线电磁干扰滤波器	273
五、信号线电磁干扰滤波器	274
六、滤波器在汽车上的应用	275
参考文献	278
第九章 电动汽车电驱动系统参数测试	280
第一节 驱动系统测试基础	281
一、谐波分析	281
二、谐波表示法	282
三、驱动系统谐波特性	283
第二节 电压和电流测量	285
一、电压与电流的有效值	285
二、电压和电流的畸变因数	286
第三节 电功率计算	286
第四节 电机转速与转矩测试	289
一、电机转速测试	289
二、转矩测试	290
第五节 电机直流电阻测试	293
一、伏安法	293
二、电桥法	294
三、非平衡电桥测动态电阻	295
第六节 电机噪声	297
一、电机系统噪声的组成	297
二、电驱动系统噪声的研究	298
三、噪声测量技术的进展	299
四、电动汽车驱动电机系统噪声评价指标体系	302
五、基于传声器阵列声场分析系统试验研究	303
第七节 驱动电机系统性能测试	320
一、驱动电机连续额定特性试验	320
二、驱动电机高效区测试	320
三、驱动电机温度和温升测量	321
第八节 驱动系统自动测试系统	325



一、系统总体方案	326
二、电机绕组温升自动测试系统	328
三、信号采集系统	332
四、CAN 模块	335
五、I/O 模块控制信号	336
六、系统软件的实现	336
七、自动报表的实现	339
参考文献	343
第十章 电驱动系统安全性	345
第一节 电动汽车的高压安全	346
一、电动汽车的电气系统	346
二、高压电气系统绝缘性能检测	348
三、绝缘电阻测量方法	349
四、绝缘故障处理	353
第二节 电驱动系统能源安全	353
一、电源系统的安全问题	353
二、锂离子电池系统的安全问题	355
三、燃料电池系统的安全问题	357
四、电动汽车安全防护措施	359
五、氢气泄漏检测	361
第三节 电动汽车碰撞安全	365
参考文献	367

第一章 绪 论

汽车的发展对于改变人们生活和行为方式起到了巨大的作用，在现代生活中，汽车已经成为了人们生活中必不可少的交通工具。同时，汽车工业的发展对于整个世界经济的推动作用也非常巨大，甚至可以说从某种程度上改变着世界的经济格局。随着汽车工业的不断发展，全球汽车保有量的不断攀升，汽车对于世界经济和能源环境的深层次的影响也逐渐显现。在各种需求和压力的作用下，作为一种新型节能环保的交通工具——电动汽车在近年也得到了长足的发展。

第一节 电动汽车

一、电动汽车发展的背景需求

汽车的发展为人们的生活工作等提供了极大的便利，随着人们生活需求的不断提高，世界范围的汽车产销量也呈现出跳跃式的发展。1950~1970年，全球汽车保有量每10年翻一番，1970年达到2.5亿辆。1986年，全球汽车保有量再次翻一番达到5亿辆。目前，全球汽车保有量已从2009年的9.8亿辆跃升至2010年的10.15亿辆，同比增长3.6%，实现了自2000年以来的最大增幅。预计到2050年将升至25亿辆。统计显示，中国汽车市场2010年的井喷式增长，对全球汽车保有量的增长起到重要作用。2010年，中国在用汽车的保有量同比增长27.5%，增量超过1680万辆，这个数字接近同期全球新增汽车保有量的一半。截至2011年8月底，中国机动车保有量达到2.19亿辆。其中，摩托车占54.12%，约为1.19亿辆。汽车保有量占机动车总量的45.88%，刚刚超过1亿辆。这是中国汽车保有量首次突破1亿辆大关，仅次于美国的2.85亿辆，位居世界第二。如此迅猛的汽车发展规模，已经从多个方面暴露出汽车产业发展的瓶颈，并对全球的发展提出了严峻的考验。

1. 全球变暖

全球平均气温在近100多年来已经经历了冷—暖—冷—暖两次波动，总体为上升趋势。近年来全球气温明显上升，1981~1990年全球平均气温比100年前上升了0.48℃。科学家预测，如果地球表面温度的升高按现在的速度继续发展，到2050年全球温度将上升2~4℃，南北极地冰山将大幅度融化，导致海平面大大上升，一些岛屿国家和沿海城市将淹于水中，如纽约、上海、东京和悉尼。导致



全球变暖的主要原因是温室气体的排放。从世界范围看，交通运输是温室气体排放的主要领域之一，根据 2007 年欧洲运输部长会议《减少运输二氧化碳排放报告》，2003 年在经济合作组织国家中，来自燃油消费排放的二氧化碳中，交通运输（包括营业性运输及私人运输）占到 34.7%，其中公路为 23.7%；在全世界范围，交通运输占 28%，其中公路为 18%。美国运输部发布的《2005 年运输统计报告》指出，2003 年美国运输部门温室气体排放总量为 18.64 亿 t 二氧化碳当量，占当年美国全部温室气体排放量的 27%。在所有运输方式温室气体排放量中，道路运输占 82%。

2. 空气污染

空气污染是指一些危害人体健康及周边环境的气体、固体或液体悬浮物对大气层所造成的污染。汽车释放出的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、二氧化碳、固体悬浮颗粒、铅及硫氧化物会对空气造成污染。很多大都市的空气污染物和烟雾混合物中，燃油车的排放所占的比重已经超过 50.7%。尽管燃油车的发动机在不断改进以降低排放，但燃油车数量的增加所带来的影响远远大于单台车辆降低排放所取得的效果。因此，由燃油车所造成的空气污染物的总量仍在以令人担忧的速度持续增加。

3. 酸雨

酸雨是由于空气中二氧化硫 (SO_2) 和氮氧化物 (NO_x) 等酸性污染物引起的 PH 值小于 5.6 的雨水、冻雨、雪、雹、露等酸性降水。汽车尾气排放出来的氮氧化物、硫氧化物会导致酸雨的形成，酸雨会导致土壤和湖泊酸化，植被和生态系统破坏，建筑材料、金属结构和文物腐蚀等一系列严重的环境问题。酸雨在 20 世纪五六十年代最早出现于北欧及中欧，目前全球受酸雨危害严重的有欧洲、北美及东亚地区。我国酸雨正呈急剧蔓延之势，是继欧洲、北美之后世界第三大重酸雨区。

4. 资源、能源短缺

由于人类无计划、不合理的大规模开采，资源和能源短缺问题已经在世界上大多数国家甚至全球范围内出现。半个世纪以来，全球能源消耗量大增，1950 年，全世界能源消耗总量为 26 亿 t 标准煤，1987 年为 110 多亿 t 标准煤，2000 年为 131.32 亿 t 标准煤，2004 年为 146.10 亿 t 标准煤。据美国能源信息署发布的国际能源展望，世界能源市场消耗量在 2005 ~ 2030 年间预计增加 50.7%，非经合组织国家的总能源需求增加 85.7%，经合组织国家能源需求增加 19%，世界能源供应将日趋紧张。石油是目前汽车的主要能源，而汽车工业作为各国的支柱产业被大力发展，显然汽车工业的发展将进一步加剧能源短缺问题的严重性。

5. 噪声污染

人为造成的一些人们不需要的声音甚至是令人厌恶的声音可以称为噪声。噪



声的污染源主要有工厂噪声、交通噪声、建筑施工噪声、社会生活噪声等。城市噪声主要来源于交通噪声，而汽车噪声正是交通噪声的主要组成部分。汽车噪声主要有发动机噪声、进气噪声、排气噪声、风扇噪声、传动噪声、轮胎噪声、空气动力噪声以及各种发动机附件的噪声等。虽然噪声污染看起来比空气污染危害小，但是噪声可以引起心绪不宁、心情紧张、心跳加快和血压增高等。“噪声病”一词已出现于医学书刊，其发病率也日益增加。

为了尽可能解决传统汽车工业带来的种种问题，增强世界汽车工业的可持续发展，适应全球经济发展趋势，世界各国政府、学术界、工业界都在加大对电动汽车开发投入的力度，加速电动汽车发展的步伐。

电动汽车可以部分或者全部地利用电能。电能除了可以通过火力发电、核能发电之外，还可以通过其他形式能量的转换获得，如水能（水力发电）、风能（风力发电）、化学能（电池）及光能（光电池、太阳电池等）等，可以减少石油资源的使用量，而且这些新能源不会产生有害的排放和温室气体。电动汽车还可以充分利用晚间用电低谷时富余的电力充电，使发电设备日夜都能充分利用，大大提高其经济效益。研究表明，同样的原油经过粗炼，送至电厂发电，经充入电池，再由电池驱动汽车，其能量利用效率比经过精炼变为汽油，再经汽油机驱动汽车高，因此有利于节约能源。

电动汽车的有害排放物很少甚至可以实现零排放，减小对环境的污染。在全球范围内，由电动汽车产生的有害排放物比燃油车的少得多。另外，为了减少全球污染物的排放，电动汽车的使用为通过集中处理进一步减少空气污染物的排放提供了一种可能。在发电过程中会产生相应的排放物，通过集中处理的方法，这些污染物很容易被收集起来，但这种集中处理的方法不适用于燃油车。

此外电动汽车还有一个明显的优势，就是基本不会产生噪声污染。燃油车的发动机和复杂的机械传动装置会对环境产生严重的噪声污染，而电动汽车用电机驱动，电机工作时噪声很小，通过有效地控制手段，甚至可以使电动汽车运行时“无声无息”，从而大大改善对环境的噪声污染。

二、电动汽车的种类及技术特点

现代电动汽车是在现代控制理论、电力电子技术、现代化学基础理论等基础上发展起来的，它是以化学电池、燃料电池、飞轮储能装置、超级电容等为动力源，全部或部分由电机驱动，集中了机、电、化等各个学科领域中的高新技术，是汽车、电力拖动、功率电子、自动控制、化学能源、计算机、新能源、新材料等工程技术中的最新成果的集成产物。

按照目前技术状态和车辆驱动原理，电动汽车可划分为纯电动汽车、燃料电池电动汽车和混合动力电动汽车三种类型。



1. 纯电动汽车

纯电动汽车是一种仅由车载能源(包括动力蓄电池、超级电容、飞轮电池等)作为储能动力源的汽车。车载能源通过功率转换装置向电机提供电能并驱动其运转,电机经传动装置带动车轮旋转从而推动汽车运动。纯电动汽车主要由车载能源、能源管理系统、驱动电机系统、车身和底盘,以及安全保护系统等构成。车载能源目前主要是采用动力蓄电池,主要有铅酸电池、镍-氢电池、镍-镉电池、钠-硫电池、锂离子电池、锌-空气电池等。图 1-1 所示为一种典型的纯电动汽车结构示意图。

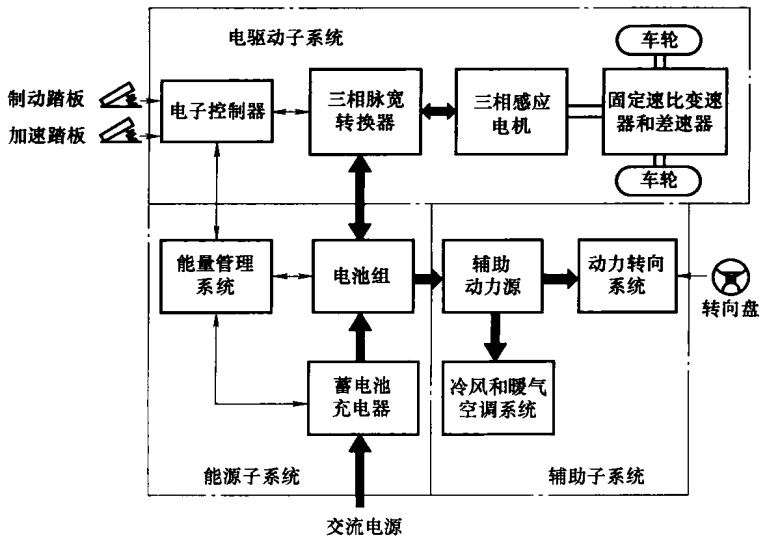


图 1-1 典型的纯电动汽车结构示意图

纯电动汽车是电动汽车研发的技术基础,具有零排放、低噪声、结构简单、技术成熟等优点,只要有电力供应的地方都能够充电运营。但是由于目前蓄电池单位重量储存的能量太少,又没形成经济规模,故购买价格较贵。但是其应用成本较低,甚至可以达到传统汽车的 1/3,这主要取决于电池的寿命及当地的油、电价格等因素。

2. 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车是以氢气为燃料,氢气与大气中的氧气发生化学反应,通过电极将化学能转化为电能,以电能作为动力驱动汽车前进。燃料电池的化学反应过程不会产生有害产物,具有高效率、无污染、零排放、无噪声等优势。燃料电池的能量转换效率比内燃机要高 2~3 倍,因此从能源的利用和环境保护方面看,燃料电池汽车是一种理想的车辆。图 1-2 是一种燃料电池电动汽车的结构示意图。

燃料电池汽车的基本结构按照驱动形式可分为纯燃料电池驱动和混合驱动两

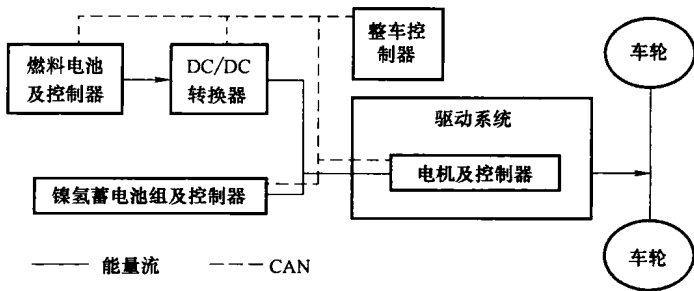


图 1-2 燃料电池电动汽车的结构示意图

种；按照能量来源可分为车载纯氢和燃料重整两种；根据燃料电池所提供的功率占整车总需求功率比例的不同，燃料电池混合动力汽车可分为能量混合型和功率混合型两种。但是，由于燃料电池必须使用反应催化剂来产生电能，而构成催化剂的稀有金属铂金价格昂贵，储量稀少，因此研发新型的催化剂是直接影响燃料电池电动汽车发展的关键。

3. 混合动力电动汽车

从狭义上讲，混合动力电动汽车(Hybrid Electric Vehicle, HEV)是指同时装备两种动力源——热动力源(由传统的汽油机或者柴油机产生)与电动力源(电池与电机)的汽车。通过在混合动力电动汽车上使用电机，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，而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。也可以认为混合动力电动汽车通常是指既有蓄电池可提供电力驱动，又装有一个相对小型内燃机的汽车。混合动力汽车是一种因为推广电动汽车的时机不成熟，而开发的一种折中的技术。

从广义上来讲，混合动力电动汽车指的是装备有两种具有不同特点驱动装置的车辆。这两个驱动装置中有一个是车辆的主要动力来源，它能够提供稳定的动力输出，满足汽车稳定行驶的动力需求，由于内燃机在汽车上成功的应用，使之成为首选的驱动装置；另外还有一个辅助驱动装置，它具有良好的变工况特性，能够进行功率的平衡，能量的再生与存储，目前应用最多的是电混合系统。

根据国际机电委员会下属的电力机动车技术委员会的建议，混合动力电动汽车是指由两种和两种以上的蓄能器、能源或转换器作为驱动能源，其中至少有两种以上能提供电能的车辆称为混合动力电动汽车。根据这个定义，混合动力电动汽车有很多种形式，为了避免混淆，业内通常把内燃机和蓄电池动力混合的车型称为混合动力电动汽车，把燃料电池与蓄电池动力混合的车型称为燃料电池电动汽车，而把蓄电池与电容器动力混合的车型称为超级电容器辅助动力电动汽车等。

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

串联式混合动力系统：发动机输出的机械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蓄电池充电，另一部分经由电动机和传动装置驱动车轮。尽管串联式混合动力的结构简单，但它需要三个驱动装置：发动机、发电机和电动机，如图 1-3 a 所示。因而该种混合方式的车辆的效率通常较低。如果串联式混合动力车设计时考虑到要爬长坡，那么提供最大功率的驱动装置的尺寸就会较大；如果用作短途运行，如当通勤车或购物车，相应的内燃机/发电机装置的功率就可较低，尺寸较小。

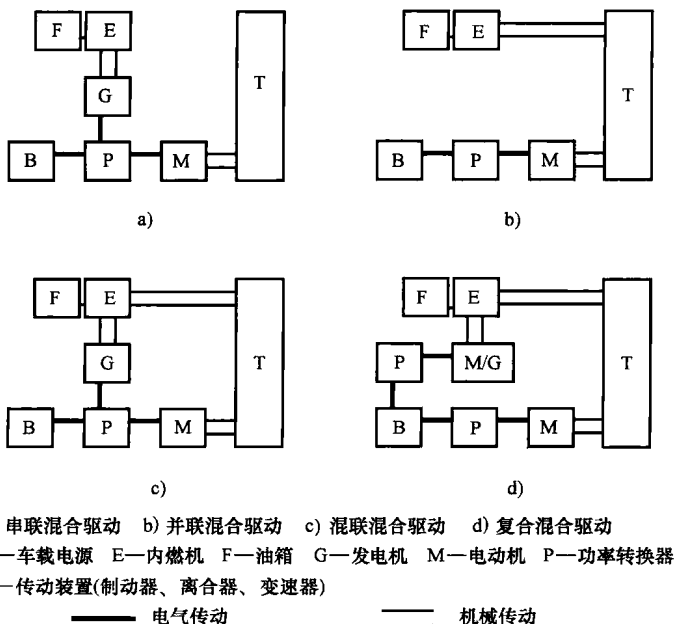


图 1-3 混合动力电动汽车结构简图

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

并联式混合动力系统：采用发动机和电动机两套独立的驱动系统驱动车轮。发动机和电动机通常通过不同的离合器来驱动车轮，可以采用发动机单独驱动、电动机单独驱动或者发动机和电动机混合驱动三种工作模式，如图 1-3 b 所示。当发动机提供的功率大于车辆所需驱动功率或者当车辆制动时，电动机工作于发电机状态，给蓄电池充电。与串联式混合动力相比，它只需要两个驱动装置，即发动机和电动机。而且，在蓄电池放电完之前，如果要得到相同的性能，并联式比串联式的发动机和电动机的尺寸要小。

(3) 混联式(串并联)混合动力汽车(Series-parallel Hybrid Electric Vehicle, SPHEV)

混联式混合动力系统：在结构上综合了串联式和并联式的特点，如图 1-3c 所示。与串联式相比，它增加了机械动力的传递路线；与并联式相比，它增加了电能的传输路线。尽管综合了串联和并联的优点，但其结构复杂，成本高。然而，随着



控制技术和制造技术的发展,一些现代混合动力电动汽车更倾向于选择这种结构。

(4) 复合式混合动力汽车(Complex Hybrid Electric Vehicle, CHEV)

复合式混合动力系统:其结构与混联式相似,二者的主要区别是复合型中的电动机允许功率流双向流动,而混联式中的发电机只允许功率流单向流动,如图1-3d所示。双向流动的功率流可以有更多的工作模式。复合式混合动力电动汽车同样具有结构复杂、成本高的缺点,不过,现在有些新型的混合动力电动汽车也采用这种双轴驱动的复合式系统。

除去这三种类型的电动汽车,还有几种运行模式介于这三者之间的电动汽车类型,包括增程型电动汽车(或称在线充电式电动汽车)、外接充电型混合动力电动汽车和双模电动汽车。增程型电动汽车通常运行在纯电动汽车模式,而当在连续行驶里程不足时,发动机和发电机集成的动力推进系统会以汽油、生物柴油或乙醇等为媒介使车辆运行在串联式混合动力电动汽车模式。图1-4所示为一种增程式电动汽车的结构简图;外接充电型混合动力电动汽车在短途行驶时消耗存储电能,而在行驶里程较长时运行在以内燃机为主的混合动力电动汽车模式,因此,车辆通常采用并联式或者混联式,而且多为重度混合型;同前两种类型的电动汽车类型相比,双模电动汽车允许驾驶人采取更加自主的决策,在储蓄电量允许的条件下,驾驶人可以根据实际路况和动力性能要求通过按键在纯电池电动汽车和混合动力电动汽车之间进行切换,以求满足排放标准、动力性能和驾驶体验的不同要求。

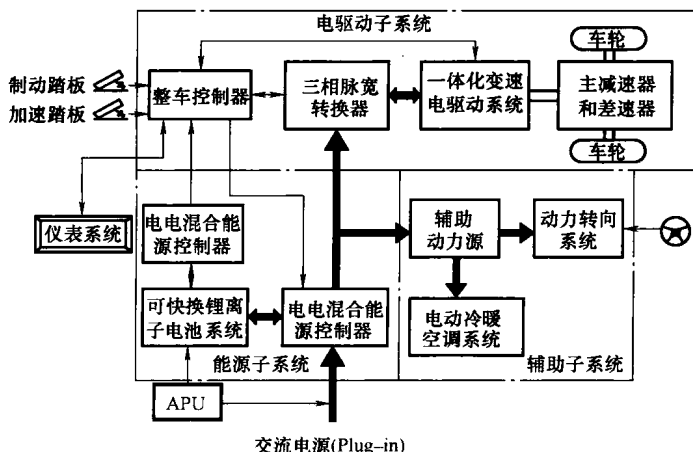


图 1-4 一种增程式电动汽车的结构简图

三、电动汽车发展的关键技术

现代电动汽车经过近几年的不断发展,其自身技术日渐成熟,产品质量和性