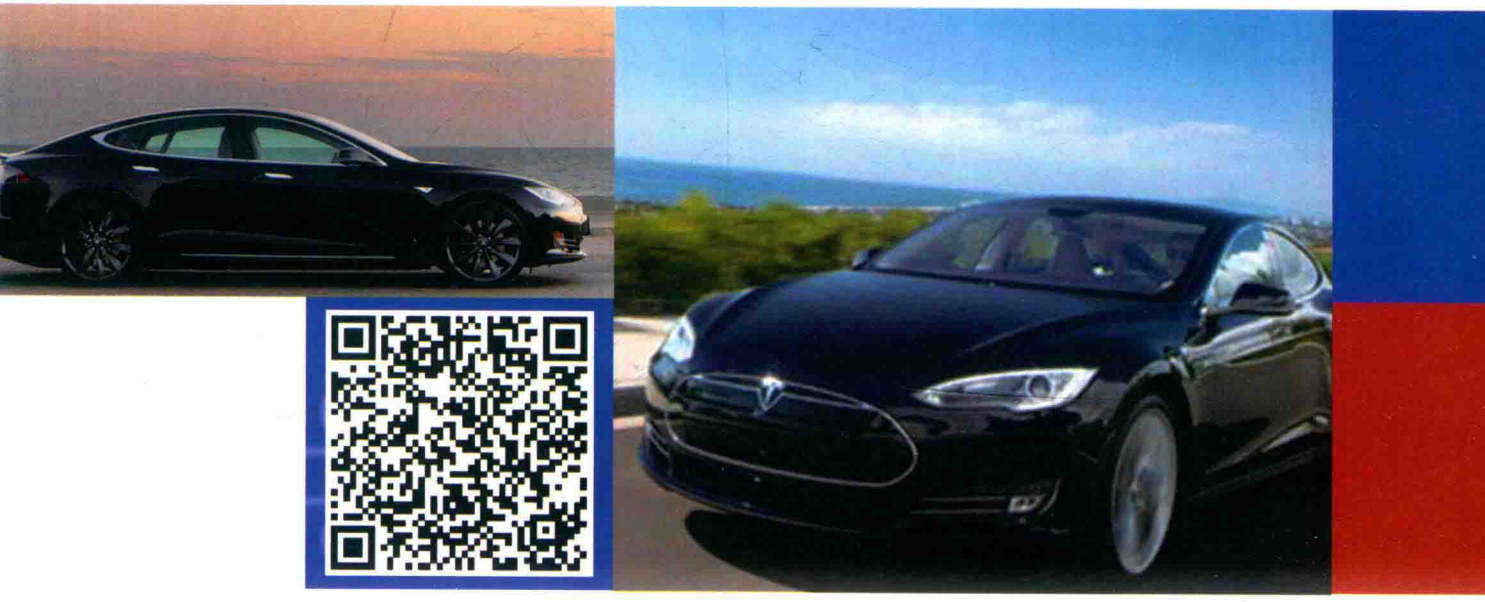
全国汽车专业“十三五”规划新教材

21世纪 全国汽车专业 优秀教材

新能源汽车综合故障诊断

陈强明 邓长勇 张珠让 主编



天津出版传媒集团

天津科学技术出版社

全国汽车专业“十三五”规划新教材
21世纪全国汽车专业

新能源汽车综合故障诊断

陈强明　邓长勇　张珠让　主　编

天津出版传媒集团
天津科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

新能源汽车综合故障诊断 / 陈强明，邓长勇，张珠让主编 . -- 天津：天津科学技术出版社，2016.9
ISBN 978-7-5576-1806-3

Ⅰ. ①新… Ⅱ. ①陈… ②邓… ③张… Ⅲ. ①新能源—汽车—故障诊断 Ⅳ. ① U469.707

中图版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 228655 号

责任编辑：范朝辉
责任印制：王 莹

天 津 出 版 传 媒 集 团

天津科学技术出版社出版

出版人：蔡 颢
天津市西康路 35 号 邮编 300051
电话：(022)23332390(编辑室)
网址：www. tjkjcbs. com. cn
新华书店经销
北京增富印务有限公司印刷

开本 889 × 1194 1/16 印张 9.75 字数 253 000
2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
定价：38.80 元

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

前言

随着新能源汽车的不断发展，新能源汽车的保有量也在逐年增加。因此，社会上也急需一批新能源汽车制造与维修方面的专业人才。虽然和传统的汽车故障诊断有着许多相同之处，但不同类型的新能源汽车，都有它自己独特的结构，因 此在对新能源汽车进行故障诊断时，首先要了解其结构组成与系统参数等。

本书以“以行业需求为导向、以能力为本位”的先进职业教育理念为指导，根据职业教育“十三五”国家级规划教材的有关要求进行编写。在编写过程中力求以新的数据、广的视角和大的集成，使读者掌握世界与中国在新能源汽车领域的新技术、新产能、新应用、新动向和新方向。

本书主要包括新能源汽车概述、新能源汽车动力电池系统故障诊断、新能源驱动电机系统故障诊断、新能源汽车发动机系统故障诊断、新能源汽车控制系统故障诊断、新能源汽车启动系统故障诊断、新能源汽车制动系统故障诊断、新能源汽车空调系统故障诊断八个部分。

和以往教材相比本书具有以下特点：

1. 全书采用彩版印刷，图文并茂，言简意赅，直观易懂，非常利于读者的学习和掌握。

2. 精心设计教材的体系与结构，结合情境教学，更好地配合了职业教育较强的任务操作性和实施性，更好地服务于理实一体化教学模式。

3. 本书以丰田 Prius、奥迪 Q5 混合动力、宝马 X6ActiveHybrid 等几款主流的新能源车型为主体进行讲解，体现了教育贴近实际工作的理念。

在本书编写过程中，得到了江苏汽车技师学院戴良鸿副教授、山东交通学院李祥贵教授、郭绍斌教授、扬州大学沈辉副教授等的大力支持与帮助，并参阅了许多国内外公开出版的文献，在此一并表示感谢。由于编者水平及编写时间有限，书中难免存在不妥和错漏之处，恳请广大读者批评指正。

编委会

编 委 会

主　编： 陈强明（兰州城市学院）

邓长勇（重庆工商职业学院）

张珠让（咸阳师范学院）

副主编： 田国辉（邢台技师学院）

秦浩（平顶山工业职业技术学院）

庞红光（云南技师学院）

黄再霖（贵州省机械工业学校）

张红飞（沅江市职业中等专业学校）

张知文（凉州区职业中专学校）

潘海波（徐州经贸高等职业学校）

吴治刚（从江县职业技术学校）

潘虎（炎黄职业技术学院）

编　者： 马鑫涛（河南工业职业技术学院）

贾屿（徽商职业学院）

目　录

第一部分　新能源汽车概述

情境一　新能源汽车分类 …… 1
情境二　新能源汽车关键技术 …… 5

第二部分　新能源汽车动力电池系统故障诊断

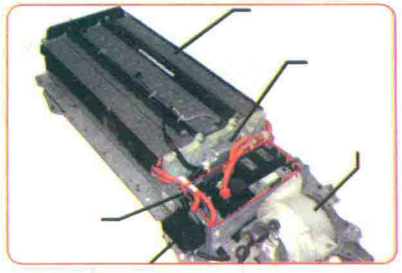
情境一　动力电池分类及性能指标 …… 8
情境二　丰田普锐斯 NiMH 电池系统 …… 14
情境三　宝马 X.6 高电压蓄电池单元 …… 18
情境四　动力电池的使用与维护 …… 24
情境五　动力电池组故障诊断 …… 28
情境六　混合动力冷却系统故障诊断 …… 33

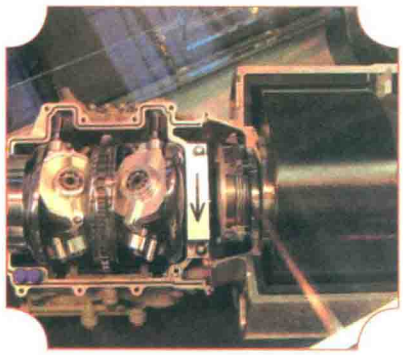
第三部分　新能源驱动电机系统故障诊断

情境一　驱动电机概述 …… 36
情境二　新能源汽车驱动电机结构及原理 …… 39
情境三　驱动电动机调速控制系统 …… 52
情境四　驱动电机故障诊断 …… 55

第四部分　新能源汽车发动机系统故障诊断

情境一　新能源汽车发动机结构及技术特点 …… 62
情境二　油电混合动力发动机故障诊断 …… 66



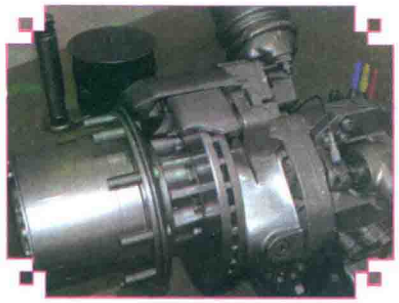


第五部分　新能源汽车控制系统故障诊断

情境一　新能源汽车控制系统结构原理 …… 71
情境二　途锐混合动力汽车管理控制系统 …… 76
情境三　君越混合动力控制系统故障诊断 …… 84
情境四　能量存储系统故障诊断 …… 88
情境五　混合动力汽车电动系统故障诊断 …… 91

第六部分　新能源汽车启动系统故障诊断

情境一　丰田 Prius 混合动力启动系统 …… 98
情境二　新能源汽车启动系统故障诊断 …… 106



第七部分　新能源汽车制动系统故障诊断

情境一　新能源汽车制动系统组成 …… 113
情境二　宝马 X6 混合动力制动系统 …… 119
情境三　IMA 混合动力制动系统故障诊断 …… 128

第八部分　新能源汽车空调系统故障诊断

情境一　新能源汽车空调系统结构原理 …… 137
情境二　新能源汽车空调系统故障诊断 …… 143

第一部分

新能源汽车概述

情境一　新能源汽车分类

一、新能源汽车定义

我国于 2009 年 7 月 1 日正式实施了《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》，明确指出：新能源汽车（New energy vehicles）是指采用非常规的车用燃料作为动力来源（或使用常规的车用燃料但采用新型车载动力装置），综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术，形成的技术原理先进并具有新技术、新结构的汽车。

二、新能源汽车分类

新能源汽车主要包括以下几种类型：混合动力电动汽车（HEV）、纯电动汽车（BEV，包括太阳能汽车）、燃料电池电动汽车（FCEV），如图 1-1 所示。

图 1-1　电动汽车的分类

纯电动汽车或纯燃料电池电动汽车只有电动机一种动力源，混合动力汽车则至少有两种动力源，动力蓄电池和氢燃料电池技术的发展将最终导致不同类型的汽车向纯电动机汽车和纯燃料电池电动汽车方向发展。电动汽车的发展不但是动力系统的变化，其传动系统等也将随之发生变化。

纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的特征如表 1-1 所示。

表 1-1　纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的特征

电动汽车类型	纯电动汽车	混合动力电动汽车	燃料电池电动汽车
驱动方式	电动机驱动	电动机驱动 + 内燃机	电动机驱动
能量系统	蓄电池或超级电容器	蓄电池或超级电容器 + 内燃机发电单元	燃料电池
能源和基础设施	电网充电设施	加油站 + 电网充电设施（可选）	氢气、甲醇或汽油、乙醇
主要特点	零排放 不依赖原油 续驶里程短（100~200km） 初期成本高 有销售	很低排放 续驶里程长 依赖原油 结构复杂 有销售	零排放或超低排放 能源效率高 依赖原油（如用原油提炼氢氧） 续驶里程较长、成本高
主要问题	蓄电池和蓄电池管理 充电设施	多能源管理、优化控制 蓄电池评估和管理	燃料电池燃料处理器 燃料系统燃料安全

三、混合动力汽车

混合动力电动汽车是在纯电动汽车开发过程中为有利于市场化而产生的一种新车型。目前，混合动力电动汽车一般是指采用内燃机和电动机两种动力，将现有内燃机与一定容量的储能器件，如高性能蓄电池或超级电容器，通过先进控制系统相结合，提供车辆行驶所需要的动力，蓄电池可由汽车中的内燃机驱动发电机充电的汽车。

因此，混合动力电动汽车没有从根本上摆脱交通运输对石油资源的依赖问题，同时，当以内燃机为主提供动力时，无法有效降低车辆对环境的影响。因此从技术角度分析，混合动力电动汽车是电动汽车发展过程中一段时期内的一种过渡技术。混合动力的典型代表是丰田 Prius，如图 1-2 所示。

图 1-2　丰田 Prius 混合动力汽车

（一）混合动力汽车的优点

（1）采用混合动力后可按平均需用的功率来确定内燃机的最大功率，此时处于油耗低、污染少的最优工况下工作。需要大功率内燃机功率不足时，由电池来补充；负荷小时，富余的功率可发电给电池充电，由于内燃机可持续工作，电池又可以不断得到充电，故其行程和普通汽车一样。

（2）因为有了电池，可以十分方便地回收制动时、下坡时、怠速时的能量。

（3）在繁华市区，可关停内燃机，由电池单独驱动，实现“零”排放。

（4）有了内燃机可以十分方便地解决耗能大的空调、取暖、除霜等纯电动汽车遇到的难题。

（5）可以利用现有的加油站加油，不必再投资。

（6）可让电池保持在良好的工作状态，不发生过充与过放，延长其使用寿命，降低成本。

（二）混合动力汽车的分类

为了更好地区分弱混、中混和强混三种混合动力汽车，表 1-2 列出了更详细的特征信息。

表 1-2　混合动力汽车主要特征对照表

类型	主要特征	节有率	典型实例
弱混	具有 Start-Stop 功能和能量回收功能。	5%~10%	奥迪 A3 2015 款 Sportback 35 进取型、高尔夫 2016 款 1.2TSI 自动舒适型
中混	具有 Start-Stop 功能、能量回收功能、智能充电和电机助力。	10%~25%	本田思域（CIVIC）混合动力汽车；上海汽车荣威 750 混合动力汽车；上海通用君越混合动力汽车。
强混	具有 Start-Stop 功能、能量回收功能、电机助力、智能充电和短距离纯电动行驶功能。	25%~40%	丰田普锐斯 (Prius) 混合动力汽车（动力分流）；大众捷达混合动力汽车（单电机）。

四、纯电动汽车

纯电动汽车（简称电动车）是指主要以电池为动力源，全部或部分由电动机驱动，符合道路交通、安全法规各项要求的车辆。纯电动汽车是涉及机械、电子、电力、微机控制等多学科的高科技技术产品，是与燃油汽车相对应的。

纯电动汽车是完全由二次电池（如铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池或锂离子电池）提供能量，由电动机驱动的汽车，由于一次石化能源的日趋缺乏，纯电动汽车被认为是汽车工业的未来。

典型的纯电动汽车结构如图 1-3 所示。动力蓄电池组输出电能驱动电动机，从而推动车辆行驶，蓄电池的电能通过充电系统在车辆行驶一定里程后进行补充。

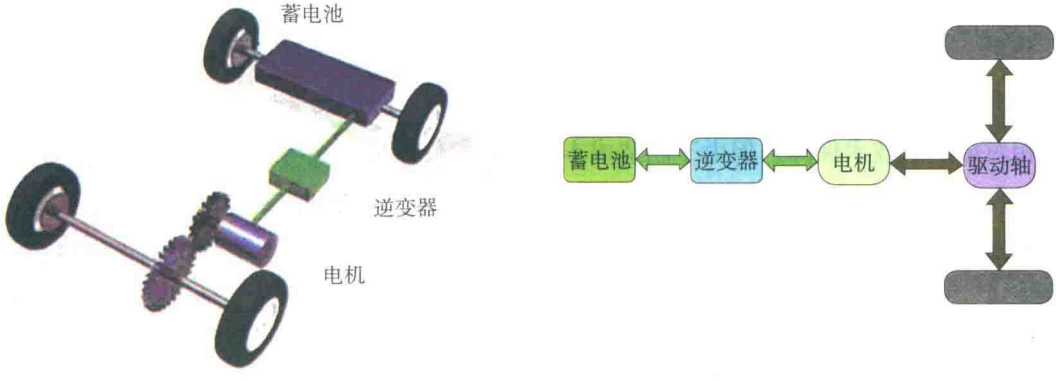


图 1-3　纯电动汽车结构

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

纯电动汽车主要由电力驱动控制系统、车载电源控制系统和辅助控制系统构成，如图 1-4 所示。电力驱动控制系统包括中央控制单元、驱动控制器、电动机、机械传动装置；车载电源控制系统包括充电控制器（能量源）、蓄电池（能量单元）及能量管理单元；辅助控制系统包括助力转向单元、温控单元和辅助动力源等。蓄电池纯电动汽车的特点是用户端真正实现了“零排放”，不依赖汽油，只要有电力供应的地方都能够充电，但是由于蓄电池的能量密度和功率密度比汽油或柴油低很多，因此纯电动汽车的连续行驶里程有限。

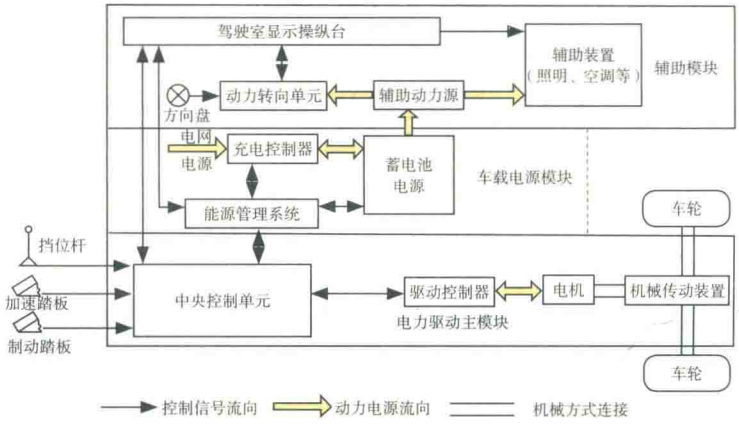


图 1-4　纯电动汽车控制系统的构成

五、燃料电池汽车

燃料电池汽车是指以氢气、甲醇等为燃料，通过化学反应产生电流并依靠电机驱动的汽车。其电池的能量是通过氢气和氧气的化学作用，而不是经过燃烧，直接变成电能。燃料电池的化学反应过程不会产生有害产物，因此燃料电池车辆是无污染汽车，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，燃料电池汽车是一种最理想的车辆（见如图 1-5）。

图 1-5　广汽燃料电池汽车

燃料电池汽车的发展现状：

单个的燃料电池必须结合成燃料电池组，以便获得必需的动力，满足车辆使用的要求。

近几年来，燃料电池技术已经取得了重大的进展。世界著名汽车制造厂，如戴姆勒—克莱斯勒、福特、丰田和通用汽车公司在 2004 年就已经将燃料电池汽车投向市场。虽然燃料电池汽车优点很多，并且也已有相对成熟的技术保障，但由于制造成本上升高、使用成本高等多种因素的限制，绝大多数厂家虽然推出了燃料电池汽车，但都没有真正投入市场。因此目前燃料电池轿车的样车仍正在进行试验，以燃料电池为动力的运输大客车在北美的几个城市中已被列为示范项目。在开发燃料电池汽车中仍然存在着技术性挑战，如燃料电池组的一体化，提高商业化电动汽车燃料处理器和辅助汽车制造厂都在朝着集

成部件和减少部件成本的方向努力，并已取得了显著的进展。

与传统汽车相比，燃料电池汽车具有以下优点：

（1）零排放或近似零排放；

（2）减少了机油泄露带来的水污染；

（3）降低了温室气体的排放；

（4）提高了燃油经济性；

（5）提高了发动机燃烧效率；

（6）运行平稳，无噪声。

情境二　新能源汽车关键技术

现代电动汽车的核心是高效、清洁和智能化的利用电能驱动车辆。其关键技术包括汽车制造技术、电子技术、信息技术、能源技术、电力驱动技术、能量管理技术、自动控制技术、材料技术、化学工艺技术及优化技术等，还涉及智能交通网络互联、全球定位、自动驾驶等相关技术。只有将相关的技术全面整合，并且控制好成本，这才是电动汽车技术成功的核心。现代电动汽车的核心技术可以归纳为以下几个方面。

一、电力驱动系统

电力驱动系统是电动汽车的心脏，该系统包括电动机驱动装置、机械传动装置和车轮。而电动机驱动装置是电力驱动系统的核心，针对电动汽车设计的电动机驱动系统需要灵活有效地驱动车轮（或者提供辅助动力驱动车轮）。对于现代电动汽车而言，电动机驱动系统需要满足一些基本的要求：

（1）高功率密度和高瞬时输出功率；

（2）在电动汽车低速或者爬坡时，能提供低速大转矩输出，高速时能为巡航提供高速低转矩特性；

（3）有宽调速范围，包括恒转矩区和恒功率区；

（4）转矩响应快速；

（5）在较宽的转速和转矩工作区内，保持较高能量效率；

（6）再生制动时，可实现高的能量回收效率；

（7）在各种工况下，具有高的可靠性和鲁棒性；

（8）价格合理。

要满足这些特定条件，驱动电动机系统的转矩 - 转速特性和额定功率等都应在系统仿真和驾驶模式的基础上进行确定。

二、能量源

现代电动汽车的能量源是电动汽车能否商业化和全面推广的一个主要问题。现在和将来一段时间，

如何发展电动汽车的能量源是电动汽车领域的一个主要研发内容。现代电动汽车的发展和推广所考虑的能量源应满足以下几方面的要求：

（1）高能量和能量密度；

（2）高功率和功率密度；

（3）快速充电和深度放电的能力；

（4）可循环使用，寿命长；

（5）高充电和放电效率；

（6）安全性能高且成本合理；

（7）免维护；

（8）环保且可以回收；

（9）能与汽车工程有机结合。

目前的电动汽车能源还无法完全符合上述要求，但是采用多种能源的组合可以符合较多的要求，如选用一种能源满足能量高，另一种能源满足功率高，这两种能源组合就可以取得较佳的效果。现在正在应用或还在开发的并具有一定前景的能量源有蓄电池、超级电容、燃料电池和超高速飞轮组合等。目前用于电动汽车的蓄电池种类有铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池等。需要注意的是，电动汽车的电池和其他一般用途的电池在工况和运行环境方面有显著的不同，因此必须由电化学专家、汽车专家和电气专家共同开发电动汽车的电池才能满足要求。

三、能量管理系统

当前，电动汽车的车载能量源还比不上燃油汽车，因此为了最大限度地利用电动汽车所带有的能量源，以便增加行驶里程，需要设计相应的能量变换系统，并优化设计电动汽车的能量管理系统。通过安装在电动汽车内的各种传感器，能量管理系统可以得到所需要的全部信息，从而可以实现以下功能：

（1）优化系统能量流；

（2）可实时显示所剩的能量和可继续行驶的里程数；

（3）提供最佳的驾驶模式；

（4）可从制动过程中获取能量并存储；

（5）根据外界的气温，可实时调节车内的温度；

（6）根据外界的光照条件，可自动调节车内外的灯光系统；

（7）分析能源，尤其是蓄电池的工作记录；

（8）诊断能源错误的工作方式，并监控能源的运行状况。

另外，通过把能量管理系统和电动汽车导航系统结合起来，就可以规划能源的最佳利用，锁定充电站的位置。总之，能量管理系统可以最大限度地利用电动汽车的能源，优化配置，使电动汽车高效运行。

四、车身结构

现代电动汽车的生产主要有两种方式：一种是改装，另一种是专门设计和生产。改装的电动汽车

就是用电动机、功率转换及分配装置、蓄电池等取代现有的内燃机的相关部件。而对于混合动力电动汽车，则是用电动汽车的相关装置辅助内燃机运作，以提高整体电动汽车的效率。由于改装可采用现有的内燃机车的底盘，这对于小规模生产的电动汽车而言是比较经济的。但是，改装的电动汽车由于天生具有车体重、重心高、质量分布不平衡等缺点，因此目前的电动汽车大多数都是专门设计的。由于专门设计的电动汽车可以实现特定的设计目标，可以让工程师灵活地协调和综合电动汽车的各个子系统，以便可以有效地工作。

为了提高全新设计的电动汽车的整体性能，连续行驶里程、最高速度、加速能力和爬坡能力等因素等都需要重新考虑。经过针对电动汽车的专门设计和规划，电动汽车应具有轻量化的车身质量、较低的风阻系数、滚动阻力低的轮胎、灵活方便的人机接口、快速的充电能力等显著特点。

五、系统整体优化

电动汽车系统是综合了多个学科之多个领域技术的复杂系统，其性能也因此受到各个方面的影响。为了提高电动汽车的总体性能并降低电动汽车的成本，系统优化就显得极其重要。通过计算机仿真，可以非常有效地进行电动汽车的仿真和评估，从而使开发商可以降低开发成本和缩短开发时间。由于电动汽车整体是由各个不同的子系统组合而成，因此仿真信号包括机械、电子、电磁等复合信号。在电动汽车的系统整体优化方面需要考虑以下几个问题：

（1）因为电动汽车的各个子系统之间的相互作用，并影响着全车性能，因此应该充分考虑这些相互作用的重要性；

（2）由于模型的精确性常常与复杂性一致，系统过于复杂反而会影响仿真的实用性，所以必须协调好它们之间的关系；

（3）各子系统的电压等级会相差较大，因此在电动汽车的设计中，必须考虑好蓄电池的电压、驱动电动机的电压与额定电流、加速性能、行驶里程、安全性能等方面的关系；

（4）在多能源体系的电动汽车设计上，应该综合考虑各能源所占的比例及对电动汽车性能的影响，从而确定各能源的最优比例配置；

（5）由于传动比对电动汽车的性能和操作性能影响很大，而通常情况下电动汽车采用固定的传动比，即使将来能采用更好的传动系统替代现有的齿轮传动方式，设计时也必须考虑和确定最优的传动比。

系统优化是一个复杂的过程，需要多学科人才的大力配合，而且没有一个固定的标准，因此必须在未来电动汽车的发展中逐步总结并完善。

第二部分

新能源汽车动力电池系统故障诊断

情境一　动力电池分类及性能指标

储存能量、向外传送能量和从外部吸收能量的装置称为储能装置。一般情况下，混合动力汽车的储能装置为动力电池，动力电池在工作中进行的是频繁、浅度的充放电循环。在充放电过程中，电压、电流可能有较大的变化。针对这些使用特点，我们应合理选择电池的类型。

一、动力电池的分类

电动汽车使用的动力电池可以分为化学电池、物理电池和生物电池三大类。

（一）化学电池

将化学能直接转变为电能的装置。其主要部分是电解质溶液、浸在溶液中的正负电极和连接电极的导线。化学电池按工作性质分为原电池、蓄电池、燃料电池和储备电池。

1. 原电池

是利用两个电极之间金属性的不同产生电势差，从而使电子流动，产生电流（如图 2-1 所示），又称非蓄电池，是电化电池的一种，其电化反应不能逆转，即只能将化学能转换为电能，简单说就是不能重新储存电力，与蓄电池相对。如锌—二氧化锰干电池 、锂锰电池、锌空气电池、一次锌银电池等。

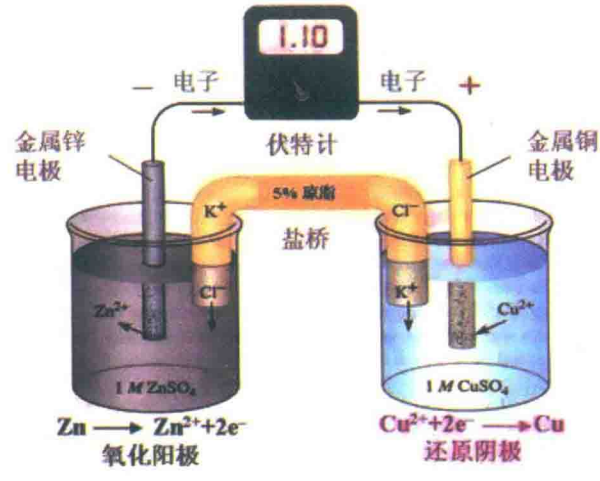


图 2-1　原电池的工作原理

2. 蓄电池

蓄电池又称二次电池，是指电池在放电后可通过充电的方法使活性物质复原而继续使用的电池，而这种充放电可以达数十次到上千次循环，如铅酸蓄电池、镍镉电池、镍氢电池、锂离子电池等（如图 2-2 所示）。

图 2-2　蓄电池

3. 燃料电池

燃料电池（Fuel Cell）是一种将存在于燃料与氧化剂中的化学能直接转化为电能的发电装置。燃料和空气分别送进燃料电池，电就被生产出来。它从外表上看有正负极和电解质等，像一个蓄电池，但实质上它不能“储电”而是一个“发电厂”（如图 2-3 所示）。

燃料电池又称连续电池，是指参加反应的活性物质从电池外部连续不断地输入电池，电池就连续不断地工作而提供电能。如质子交换膜燃料电池、碱性燃料电池、磷酸燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池、固体氧化物燃料电池、直接甲醇燃料电池、再生型燃料电池等。

燃料电池十分复杂，涉及化学热力学、电化学、电催化、材料科学、电力系统及自动控制等学科的有关理论，具有发电效率高、环境污染少等优点。总的来说，燃料电池具有以下特点：能量转化效率高；它直接将燃料的化学能转化为电能，中间不经过燃烧过程，因而不受卡诺循环的限制。燃料电池系统的燃料—电能转换效率为 45%~60%，而火力发电和核电的效率一般为 30%~40%。安装地点灵活；燃料电池电站占地面积小，建设周期短，电站功率可根据需要由电池堆组装，十分方便。

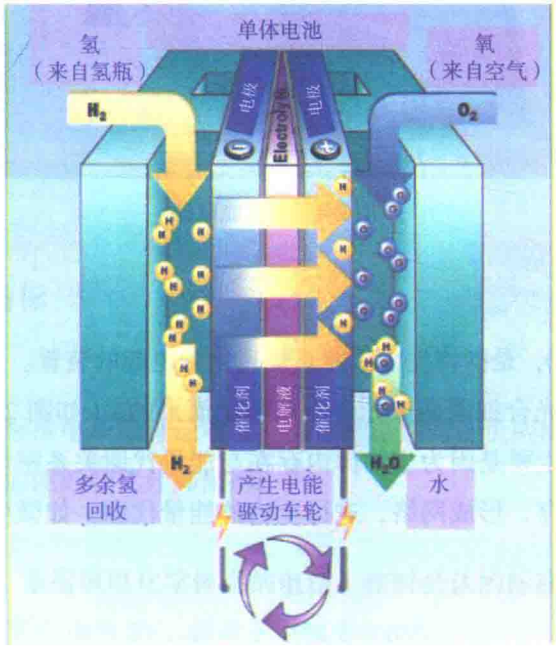


图 2-3　燃料电池工作原理

4. 储备电池

储备电池是指电池正负极与电解质在储存期间不直接接触，使用前注入电解液或者使用其他方法使电液与正负极接触，此后电池进入待放电状态，如镁电池、热电池等。

化学电池按电解质分为酸性电池、碱性电池、中性电池、有机电解质电池、非水无机电解质电池、固体电解质电池等。

化学电池按电池的特性分为高容量电池、密封电池、高功率电池、免维护电池、防爆电池等。

化学电池按正负极材料分为锌锰电池系列、镍镉镍氢系列、铅酸系列、锂电池系列等。

（二）物理电池

物理电池是利用光、热、物理吸附等物理能量发电的电池，如太阳能电池、超级电容器、飞轮电池等。

太阳能电池又称为“太阳能芯片”或“光电池”通过光电效应或者光化学效应直接把光能转化成电能的装置。图 2-4 所示的是利用太阳光直接发电的光电半导体薄片。它只要被光照到，瞬间就可输出电压及电流。在物理学上称为太阳能光伏（Photovoltaic，photo 光，voltaics 伏特，缩写为 PV），简称光伏。

太阳能电池是以光电效应工作的薄膜式太阳能电池为主流，而以光化学效应工作的湿式太阳能电池则还处于萌芽阶段。

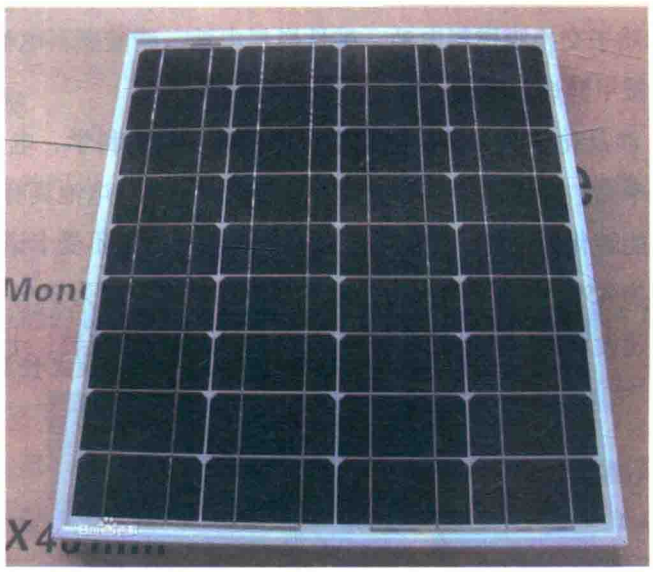


图 2-4　太阳能电池

（三）生物电池

生物电池（bio-fuel cells），是指将生物质能直接转化为电能的装置。生物质蕴涵的能量绝大部分来自于太阳能，是绿色植物和光合细菌通过光合作用转化而来的。（如图 2-5 所示）。从原理上来讲，生物质能能够直接转化为电能主要是因为生物体内存在与能量代谢关系密切的氧化还原反应。这些氧化还原反应彼此影响，互相依存，形成网络，进行生物的能量代谢。如微生物电池、酶电池、生物太阳电池等。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com