

# 新能源汽车技术



类目：新能源汽车类  
书名：新能源汽车技术  
主编：侯建 李新伟 王小毓  
出版社：电子科技大学出版社  
开本：大16开  
书号：978-7-5770-0727-4  
使用层次：通用  
出版时间：2025年8月  
定价：49.80元  
印刷方式：双色  
是否有资源：有

策划编辑: 万晓桐  
责任编辑: 李燕琴  
封面设计: 旗语书装

新能源汽车类创新教材  
教育改革新理念教材



新能源汽车类创新教材  
教育改革新理念教材



新能源汽车技术

# 新能源汽车技术

主编 © 侯建 李新伟 王小毓

## 新能源汽车技术

主编 © 侯建 李新伟 王小毓



电子科技大学出版社

电子科技大学出版社  
University of Electronic Science and Technology of China Press



新能源汽车类创新教材  
教育改革新理念教材

# 新能源汽车技术

主 审 ◎ 张一平

主 编 ◎ 侯 建 李新伟 王小毓

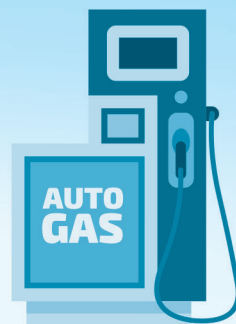
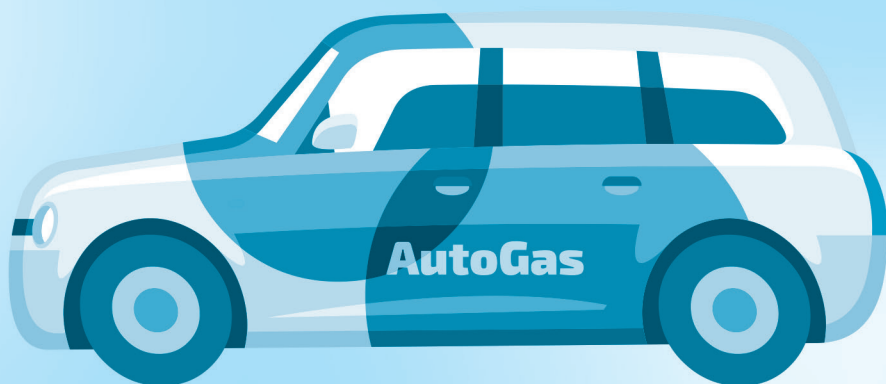
副主编 ◎ 郝欢欢 孔国栋 陆达球

朱克明 李晓红 宋 颖

夏 斌 修建武 王少英

张永安 江 辉 林孝平

李崇新



电子科技大学出版社  
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

新能源汽车技术 / 侯建, 李新伟, 王小毓主编. —  
成都: 电子科技大学出版社, 2025. 8

ISBN 978-7-5770-0727-4

I. ①新… II. ①侯…②李…③王… III. ①新能源  
- 汽车 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U469.7

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 231326 号

新能源汽车技术

XINNENGYUAN QICHE JISHU

侯 建 李新伟 王小毓 主编

策划编辑 万晓桐

责任编辑 李燕芬

责任校对 万晓桐

责任印制 梁 硕

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 [www.uestp.com.cn](http://www.uestp.com.cn)

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 涿州汇美亿浓印刷有限公司

成品尺寸 210 mm × 285 mm

印 张 16

字 数 434 千字

版 次 2025 年 8 月第 1 版

印 次 2025 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5770-0727-4

定 价 49.80 元

版权所有 侵权必究

# 前言 PREFACE



在全球环境问题日益严峻、能源危机逐渐凸显的大背景下，新能源汽车作为一种绿色、高效的交通工具，正逐渐成为汽车产业发展的主流方向。发展新能源汽车不仅有助于减少对传统化石能源的依赖、降低碳排放，还能推动汽车产业的技术创新和转型升级，为实现可持续发展提供有力支持。

新能源汽车技术作为一门融合了多学科知识的新兴课程，旨在培养学生掌握新能源汽车的基本原理、关键技术和应用实践，使其具备从事新能源汽车行业相关工作的能力。

本书系统地论述了新能源汽车技术，阐述了新能源汽车的类型、发展新能源汽车的必要性和新能源汽车的技术路线及关键技术；重点讲解了电动汽车用动力电池和电动汽车用电机的类型、特点、工作原理及基本特性等，以及纯电动汽车、燃料电池电动汽车的结构，增程式电动汽车、混合动力汽车的原理及设计方法等。本书从新能源汽车产业的实际出发，力图将新能源汽车基础知识、研发与实际应用融为一体。

本书内容丰富、概念清晰、知识精练、技术研发性强，有助于开阅读者的视野、提升读者的科学思维、培养读者的探索精神。在传统汽车知识的基础上，突出科技创新、技术改造、高新技术在新能源汽车制造业中的应用，注重体现工程实践和应用性，特别是维护内容与专业课结合，拓宽学生就业的途径。

本书适合普通高校汽车专业课程教学使用，也可供汽车类工程技术人员及汽车爱好者使用。

在编写本书的过程中，编者采纳了众多一线教学老师的意见，并得到所在院校的支持，在此深表感谢。同时，本书的编写也参阅了同类教材和相关资料，在此相关作者一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，本书难免有不足，希望广大读者批评和指正。

编者  
2025年5月



# 目 录 CONTENTS



## 项目一 绪论 / 1

- 任务一 新能源汽车的定义和分类 / 2
- 任务二 发展新能源汽车的必要性 / 3
- 任务三 新能源汽车发展现状 / 6
- 任务四 新能源汽车车型分析 / 9
- 任务五 新能源汽车技术路线及关键技术 / 17

## 项目二 电动汽车基础 / 21

- 任务一 电动机 / 22
- 任务二 蓄电池 / 28
- 任务三 其他类型动力蓄电池 / 37
- 任务四 逆变器与变频器 / 42
- 任务五 空调与转向系统 / 48

## 项目三 电动汽车用动力电池 / 55

- 任务一 概述 / 56
- 任务二 铅酸蓄电池 / 61
- 任务三 镍氢电池 / 71
- 任务四 锂离子电池 / 77
- 任务五 燃料电池 / 85
- 任务六 太阳能电池 / 101
- 任务七 其他动力电池 / 105



## 项目四 混合动力汽车 / 119

- 任务一 混合动力汽车的结构 / 120
- 任务二 混合动力汽车的分类和工作原理 / 125

## 项目五 纯电动汽车 / 139

- 任务一 概述 / 140
- 任务二 纯电动汽车传动系统参数设计 / 146
- 任务三 纯电动汽车续驶里程 / 154
- 任务四 纯电动汽车电池管理系统 / 157
- 任务五 纯电动汽车经济性评价指标及行驶能耗 / 164
- 任务六 纯电动汽车制动能量回收系统 / 167
- 任务七 纯电动汽车网络管理系统 / 174

## 项目六 燃料电池电动汽车 / 199

- 任务一 燃料电池电动汽车的类型与基本结构 / 200
- 任务二 燃料电池电动汽车的发展历史及现状 / 207

## 项目七 增程式电动汽车 / 211

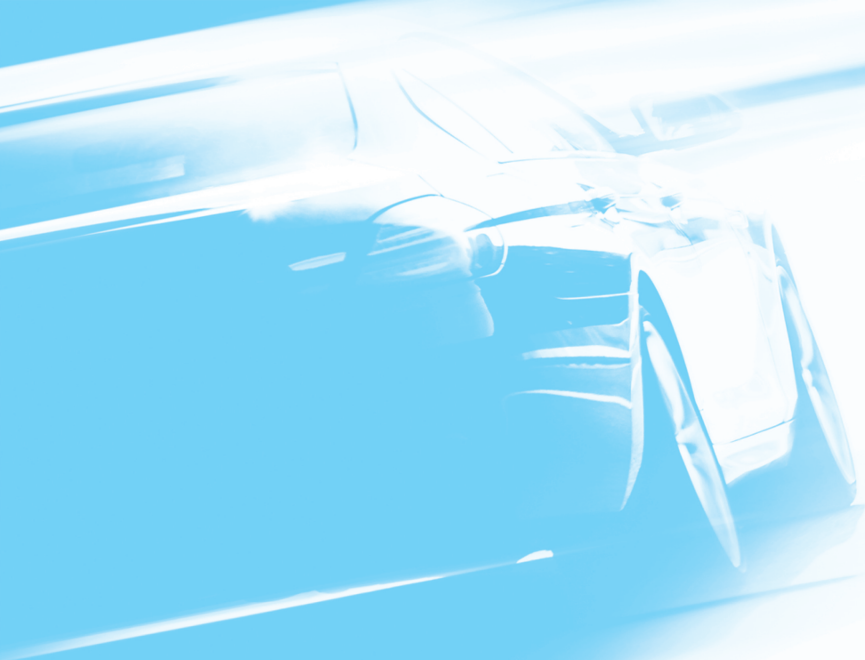
- 任务一 概述 / 212
- 任务二 增程式电动汽车动力传动系统参数匹配 / 217
- 任务三 增程式电动汽车控制策略 / 223
- 任务四 增程式电动汽车动力系统建模与仿真 / 229

## 项目八 电动汽车的维修与保养 / 239

- 任务一 电动汽车的故障维修 / 240
- 任务二 电动汽车的维护与保养 / 243
- 任务三 电动汽车故障维修经典实例 / 246

## 参考文献 / 250





# 项目一

## 绪论

### 项目概述

随着世界石油资源的日益减少以及燃油汽车对环境保护造成的压力越来越大，发展新能源汽车已成为汽车工业可持续发展的必由之路。



## 任务一 新能源汽车的定义和分类

### 一、新能源汽车的定义

新能源汽车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、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，具有新技术、新结构的汽车。

非常规的车用燃料指除汽油、柴油、天然气（NG）、液化石油气（LPG）、乙醇汽油（EF）、甲醇、二甲醚之外的燃料。

### 二、新能源汽车的分类

新能源汽车包括纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力汽车、燃料电池电动汽车、氢发动机汽车、其他新能源汽车等。

#### 1. 纯电动汽车

纯电动汽车是一种采用单一蓄电池作为储能动力源的汽车，它利用蓄电池作为储能动力源，通过电池向电动机提供电能，驱动电动机运转，从而推动汽车行驶。

#### 2. 增程式电动汽车

增程式电动汽车是一种配有地面充电和车载供电功能的纯电驱动的电动汽车，其运行模式可以根据需要选择纯电动模式、增程模式或混合动力模式。它是介于纯电动汽车和混合动力汽车之间的一种过渡车型，具有纯电动汽车和混合动力汽车的特征。有人把它划分为纯电动汽车范畴，也有人把它划分为混合动力汽车范畴，认为它是一种插电式串联混合动力汽车。

#### 3. 混合动力汽车

混合动力汽车是指驱动系统由两个或多个能同时运转的单个驱动系联合组成的车辆，车辆的行驶功率依据实际的车辆行驶状态由单个驱动系单独提供或多个驱动系共同提供。因各个组成部件、布置方式和控制策略的不同，混合动力汽车有多种形式。

混合动力汽车一般又分为常规混合动力汽车和插电式混合动力汽车，后面不做特殊说明的混合动力汽车主要是指常规混合动力汽车。

#### 4. 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车是利用氢气和空气中的氧在催化剂的作用下，将在燃料电池中经电化学反应产生的电能作为主要动力源驱动的汽车。燃料电池电动汽车实质上是纯电动汽车的一种，主要区别在于动力电池的工作原理不同。一般来说，燃料电池通过电化学反应将化学能转化为电能，电化学反应所需的还原剂一般采用氢气，氧化剂则采用氧气，因此最早开发的燃料电池电动汽车多是直接采用氢燃料的，氢气的储存可采用液化氢、压缩氢气或金属氢化物储氢等形式。



### 5. 氢发动机汽车

氢发动机汽车是以氢发动机为动力源的汽车。一般发动机使用的燃料是柴油或汽油，氢发动机使用的燃料是气体氢。氢发动机汽车是一种真正实现零排放的交通工具，排放出的是纯净水，其具有无污染、零排放、储量丰富等优势。

### 6. 其他新能源汽车

其他新能源汽车包括使用超级电容器、飞轮等高效储能器的汽车。

## 任务二 发展新能源汽车的必要性

石油短缺、环境污染、气候变暖是全球汽车产业面临的共同挑战，各国政府及产业界纷纷提出发展战略，积极应对，以保持其汽车产业的可持续发展，并提高未来的国际竞争力。新能源汽车已成为 21 世纪汽车工业发展的热点。

### 一、石油短缺

据石油巨头英国石油公司（BP）发布的《世界能源统计年鉴 2023》显示，截至 2022 年年底，全球石油储量约 1.73 万亿桶，比 2010 年增加 8.3%，若按照现在全球每天非常保守的 0.8 亿桶的耗速来看，当前世界石油储量可供全球消费约 59 年。

从储量上看，世界上排在前 10 名的国家依次是：沙特阿拉伯、加拿大、伊朗、伊拉克、科威特、阿联酋、委内瑞拉、俄罗斯、中国、利比亚。

我国是一个能源短缺的国家，但却是一个能源消费大国，能源消费量仅次于美国。2011 年我国石油消费量达到 4.6 亿吨，成为世界第二大石油消费国。2013 年，我国人均石油消费量为世界平均水平的 60%，石油占一次能源消费总量的比重仅为 18%，低于世界平均水平（33%），预计未来我国石油消费仍将持续稳定增长，处于上升状态。

石油在交通领域的消费逐年增长。据 2019 年底预测，到 2020 年交通用油将占全球石油总消耗的 62% 以上。美国能源部预测，2020 年以后，全球石油需求与常规石油供给之间将出现净缺口，2050 年的供需缺口几乎相当于 2000 年世界石油总产量的两倍。

目前，世界汽车保有量已突破 10 亿辆，预计到 2030 年全球汽车保有量将突破 20 亿辆，主要增量来自发展中国家，其中中国增速位居全球第一。

我国汽车产量逐年增加。2012 年我国汽车产销双双突破 1 900 万辆，再次突破纪录，产销增速都超过了 4%，蝉联世界第一，中国已经成为世界第一大汽车生产国和第一大新车销售市场。

汽车消费的快速增长导致石油消耗加速增长。中国机动车燃油消耗量占全国总油耗的 1/3 以上，这也使得中国石油对外依存度每年都在不断攀升。

我国经济持续快速发展，对石油资源的需求激增，能源供需矛盾日益突出，对进口石油的依赖度不断提高。2011 年，我国石油对外依存度达到 56.5%，比 2010 年上升了 1.7 个百分点。2013 年，我国石油对外依存度将达 58.1%。据国际能源机构预测，随着越来越多中国消费者购买汽车，到 2030 年，中国石油消耗量的 80% 需要依靠进口。



## 二、环境污染

燃油汽车在行驶过程中会产生大量的有害气体，不但污染环境，还大大地影响人类健康。燃油汽车尾气排放的主要污染物为一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、铅（Pb）、颗粒物（PM）及硫化物等。这些一次污染物还会通过大气化学反应生成光化学烟雾、酸沉降等二次污染物。

2013年春季，浓浓雾霾遮蔽了中国的中东部地区。环保部门的2013年数据显示，从华北到中部乃至黄淮、江南地区，都出现了不同程度的污染和严重污染。尤其是北京、天津、石家庄等城市由于低空近地面的空气污染物久积不散，主城地区连续出现空气质量重度污染和严重污染，包括PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、硫酸或硝酸盐等主要污染物徘徊在较高、超标浓度水平，形成严重的雾霾天气，严重影响了人们的身心健康和日常出行，引起了全社会的广泛关注。机动车是雾霾形成的重要因素之一，亟需研究改善其排放污染的措施。

降低和控制机动车排放污染物的主要措施。

(1) 不断完善和升级汽车油耗标准。通过制定和实施汽车油耗标准法规，逐步提高汽车油耗水平。近年来，我国汽车行业相关油耗标准不断升级，随着汽车油耗标准法规水平升级，到2015年，当年生产的乘用车平均燃料消耗量降至6.9 L/100 km，节能型乘用车燃料消耗量降至5.9 L/100 km以下。到2020年，当年生产的乘用车平均燃料消耗量降至5.0 L/100 km，节能型乘用车燃料消耗量降至4.5 L/100 km以下；商用车新车燃料消耗量将接近国际先进水平。

(2) 不断完善和升级汽车排放标准。通过制定和实施汽车排放标准法规，逐步提高汽车排放技术水平，降低汽车尾气排放。近年来，我国汽车行业排放标准不断升级。轻型汽油车单车碳氢化合物和氮氧化物国家第四阶段（国IV）机动车污染物排放标准排放限值较国家第一阶段（国I）机动车污染物排放标准下降81%；重型柴油车单车碳氢化合物国IV排放限值较国I下降58%，氮氧化物下降56%，颗粒物下降94%。

北京市制定严格的地方标准加强对机动车尾气排放的控制，排放水平要求明显高于全国大部分地区。2013年2月1日率先实施京V排放标准，以尽快降低机动车尾气排放。例如，轻型汽油车、重型柴油车单车氮氧化物排放量均将下降43%左右，从而降低废气污染物和PM<sub>2.5</sub>。

(3) 提高燃油品质。燃油品质在很大程度上限制了机动车排放污染物的水平，推迟了汽车排放法规的实施，因此，应尽快提高我国的燃油品质。

(4) 积极开展先进节能减排技术的研发和创新。汽车行业应大力发展混合动力技术，柴油机高压共轨、汽油机缸内直喷、均质燃烧以及涡轮增压等高效内燃机技术，先进电子控制技术和先进传动系统技术（包括六挡及以上机械变速器、双离合器式自动变速器、商用车自动控制机械变速器等），开展高效控制氮氧化物等污染物排放技术研究等，积极推进有关先进技术的应用。

(5) 大力发展节能与新能源汽车。2012年6月28日国家出台了《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》，基本建立了节能与新能源汽车技术研发体系，积极推广示范运行，初步形成节能与新能源汽车产业化能力，并取得积极进展。

(6) 改善城市交通环境。在城市的环境保护中，即使是每一辆机动车都达到了国家规定的排放法规要求，也不能保证城市的交通污染就一定达到环保标准要求。这是由于大量机动车在一定时间、空间内的相对集中，从而造成城市的某一地区在排放污染物总量上超标。因



此，从机动车管理的角度来考虑，就是要疏导交通，提高机动车运行速度，优化路网布局，合理分配车流，减少城市中心区的车流密度，改善汽车运行工况，降低机动车污染物排放量。

欧洲制定了旨在限制汽车污染物排放的欧V和欧VI标准。根据新标准，未来欧盟国家对本地生产及进口汽车的污染物排放量，特别是氮氧化物和颗粒物排放量的控制将日益严格。

欧V标准于2009年9月1日开始实施。根据这一标准，柴油轿车的氮氧化物排放量不应超过180 mg/100 km，比欧IV标准规定的排放量减少了28%；颗粒物排放量则比欧IV标准规定的减少了80%，所有柴油轿车必须配备颗粒物滤网。柴油SUV执行欧V标准的时间是2012年9月。

相对于欧V标准，于2014年9月实施的欧VI标准更加严格。根据欧VI标准，柴油轿车的氮氧化物排放量不应超过80 mg/100 km，与欧V标准相比，欧VI标准对人体健康的益处将增加60%~90%。

欧VI标准分两个阶段实施。首先，针对全部批准的新车型实施，生效日期是2013年1月1日。之后，从2014年1月1日起，所有从2014年1月1日开始注册的新卡车和客车都必须装备欧VI认证发动机。欧VI标准规定的尾气排放中各成分的含量有显著降低，改变包括：所有的 $\text{NO}_x$ 排放降低至0.46g/(kW·h)，同目前的欧V限值相比下降了75%；PM降低到0.01 mg/(kW·h)，或者说同欧V相比下降66%；推出了更低的排放限值；对所有运行700 000 km或7年的车辆的欧VI发动机有一个加强排放耐久性要求；对发动机的车载诊断系统(OBD)性能要求进一步提升；采用新的全世界范围内的“瞬态”和“稳态”测试循环，包括冷启动和正常运行温度时部件状态，测试状态的设计更接近车辆在真实环境中运行时部件的反应。

柴油面包车和7座以下载客车实施欧V和欧VI标准的时间将分别比轿车晚1年。2010年9月，面包车等实施欧V标准，面包车每千米氮氧化物排放量不应超过280 mg；2015年9月实施欧VI标准后，新款面包车每千米氮氧化物排放量不应超过125 mg。

### 三、气候变暖

能源的大量消耗带来温室气体排放问题。二氧化碳是全球最重要的温室气体，是造成气候变化的主要原因，而它主要来自化石燃料的燃烧。

由于人类活动的影响，温室气体和硫化物气溶胶的浓度增加过快，未来100年全球平均地表温度将上升1.4~5.8℃，到2050年我国平均气温将上升2.2℃。

越来越多的证据证明，人类活动是造成气候变暖最重要的原因，而气候变暖又是由于大气中聚集了大量的温室气体（主要是二氧化碳）。在交通领域内二氧化碳排放成为关注的重点。据国际能源机构(IEA)统计，汽车二氧化碳总排放量从1990年的29亿吨增加到2020年的60亿吨。因此，汽车对地球环境造成了巨大影响。

控制消费和节约能源是减少二氧化碳排放量的重要途径。仅在工业发达国家，人均能源的消费指数在1~3，这就表明，节约能源的余地是极大的。当然，还可以考虑保持适当的消费水平，同时用不会产生温室效应的替代品来取代会造成污染的能源。

为了减少汽车对全球气候变暖的影响，削减温室气体二氧化碳的排放，汽车应尽量采用小排量发动机和稀薄燃烧发动机，最大限度地提高能源利用效率。为了减少汽车二氧化碳的排放量，汽车二氧化碳排放法规开始实施。2008年，欧盟要求轿车二氧化碳排放达到140 g/km，对于汽油车，对应油耗6 L/100 km以下；2012年要求达到120 g/km；2020年要



求达到 100 g/km。

如果中国采用一系列先进技术，包括电动汽车、天然气汽车和以天然气为燃料的内燃机技术，到 2030 年，中国汽车二氧化碳的排放总量有可能降低 45%。

在能源和环保的压力下，新能源汽车无疑将成为未来汽车的发展方向。大力推进传统汽车节能减排和新能源汽车产业化，已成为中国汽车产业亟须解决的重大课题。

### 任务三 新能源汽车发展现状

目前，新一轮的新能源汽车研发、示范和产业化已经开始，得到了各国政府和企业的的高度重视，但全球新能源汽车产业仍处于初级阶段。

#### 一、国外新能源汽车发展现状

国外新能源汽车发展在不同地区呈现出不同的特点和态势，以下是对主要国家和地区的现状分析：

##### 1. 欧洲

欧洲各国政府积极出台政策推动新能源汽车发展。例如，设定严格的碳排放目标，对传统燃油车的碳排放进行严格限制，促使汽车制造商加大对新能源汽车的研发和生产投入。同时，提供购车补贴、税收减免等优惠政策，鼓励消费者购买新能源汽车。

近年来，欧洲新能源汽车市场呈现出快速增长的态势。挪威是全球新能源汽车渗透率最高的国家之一，新能源汽车销量占比多年超过 50%。德国、法国、英国等国家的新能源汽车市场也在不断扩大，各大汽车品牌纷纷推出多款新能源车型。

欧洲各国加大了对充电基础设施的建设投入，公共充电桩数量不断增加。同时，充电技术也在不断进步，快充技术逐渐普及，为新能源汽车的推广提供了有力支持。

##### 2. 美国

美国政府通过税收抵免、补贴等政策鼓励新能源汽车的消费和生产。拜登政府上台后，提出了一系列促进新能源汽车发展的计划，包括加大对充电基础设施建设的投资、提高燃油经济性标准等，推动美国新能源汽车市场的发展。

美国是全球重要的新能源汽车市场之一，特斯拉是美国新能源汽车的代表品牌，其 Model 3、Model Y 等车型在全球范围内都有较高的销量。此外，通用、福特等传统汽车制造商也在加快新能源汽车的布局，推出了多款新能源车型。

美国在新能源汽车技术研发方面具有较强的实力，尤其是在电池技术、自动驾驶技术等领域处于世界领先水平。一些科技公司也纷纷涉足新能源汽车领域，为行业的发展注入了新的活力。

##### 3. 日本

日本在新能源汽车技术研发方面起步较早，拥有先进的电池技术、混合动力技术等。丰田、本田等汽车制造商在混合动力汽车领域具有很强的竞争力，其混合动力车型在全球市场



上销量可观。

日本政府制定了一系列政策推动新能源汽车的发展，鼓励汽车制造商加大对纯电动汽车和燃料电池汽车的研发投入。同时，日本还在积极推进氢能源基础设施的建设，为燃料电池汽车的推广创造条件。

尽管日本新能源汽车市场的发展相对较为缓慢，但近年来随着政策的推动和消费者环保意识的提高，新能源汽车销量也在逐渐增加。纯电动汽车和燃料电池汽车的市场份额正在逐步扩大。

#### 4. 韩国

韩国的现代、起亚等汽车制造商在新能源汽车领域取得了显著的成绩。现代汽车的 IONIQ 系列、起亚的 EV6 等车型在市场上受到了广泛关注，具有较高的性价比和续航里程。

韩国拥有全球领先的电池企业，如 LG 化学、三星 SDI 等。这些企业在锂离子电池技术方面具有很强的研发实力和生产能力，为全球新能源汽车产业的发展提供了重要的支持。

韩国政府出台了一系列政策支持新能源汽车的发展，包括购车补贴、税收优惠、建设充电基础设施等。同时，政府还鼓励企业加大对新能源汽车技术的研发投入，提高韩国新能源汽车产业的竞争力。

## 二、国内新能源汽车发展现状

### （一）市场规模与增长态势

#### 1. 产销量持续攀升

近年来，中国新能源汽车产业呈现出蓬勃发展的态势，产销量连续多年稳居全球第一。中汽协数据显示，2023 年中国新能源汽车产量达到 958.7 万辆，销量为 949.5 万辆，同比分别实现 35.8% 和 37.9% 的增长。这种高速增长态势表明新能源汽车在中国市场的接受度和需求不断提高，市场规模持续扩大。

#### 2. 市场渗透率稳步提升

新能源汽车在新车销售中的渗透率逐年上升。2023 年，其市场占有率达到 31.6%，这一数据充分显示了新能源汽车在中国汽车市场的地位日益重要。不仅在乘用车领域，新能源汽车在商用车市场的应用也在逐步拓展，从传统的公交、环卫领域向物流配送等领域延伸，新能源物流车等细分市场的份额不断增加。

### （二）技术创新成果

#### 1. 电池技术领先

中国在动力电池技术方面处于世界前沿水平。宁德时代作为全球最大的动力电池供应商，其在电池能量密度、安全性和循环寿命等方面取得了显著进展。同时，国内企业和科研机构积极投入新型电池技术的研发，如固态电池、氢燃料电池等。部分企业已经在固态电池技术上取得阶段性成果，为未来新能源汽车的发展提供了更多的技术选择。

#### 2. 智能网联技术广泛应用

国内新能源汽车企业高度重视智能网联技术的研发和应用。自动驾驶辅助功能不断升级，从基础的自适应巡航、自动泊车等功能逐步向更高级别的自动驾驶迈进。一些企业已经实现



了特定场景下的 L3 级自动驾驶功能。此外，车联网技术的应用使得车辆能够与外界进行信息交互，实现远程控制、实时导航、在线娱乐等功能，极大地提升了用户的使用体验。

### （三）政策环境支持

#### 1. 完善的支持政策体系

政府出台了一系列全方位的支持政策，涵盖研发补贴、购置补贴、税收减免、牌照优惠等多个方面。虽然购置补贴等政策逐步退坡，但双积分政策等长效机制不断完善。双积分政策要求汽车企业同时满足新能源汽车积分和平均燃料消耗量积分的要求，促使企业加大新能源汽车的研发和生产投入，推动了产业的可持续发展。

#### 2. 基础设施建设政策推动

为解决新能源汽车充电难题，政府加大了对充电基础设施建设的支持力度。出台了相关规划和标准，引导社会资本参与充电桩、换电站等基础设施建设。各地也纷纷制定了充电基础设施建设目标，加快建设速度，提高充电设施的覆盖率和服务质量。

### （四）产业链配套情况

#### 1. 完整的产业链布局

经过多年的发展，中国已经形成了涵盖上游原材料、中游零部件、下游整车制造以及后市场服务的完整新能源汽车产业链。在上游，锂、钴、镍等关键原材料的供应得到保障；中游的动力电池、驱动电机、电控系统等零部件企业具备较强的技术实力和生产能力；下游整车制造企业不断推出高品质的新能源汽车产品；后市场服务领域也逐渐完善，包括电池回收、维修保养等。

#### 2. 产业集群效应凸显

国内形成了多个具有明显优势的新能源汽车产业集群，如珠三角、长三角、京津冀等地区。这些产业集群聚集了大量的整车企业、零部件供应商、科研机构和金融机构等。通过产业协同和资源共享，降低了生产成本，提高了生产效率和创新能力，增强了产业的整体竞争力。

### （五）消费市场特征

#### 1. 消费者认知与接受度提高

随着新能源汽车技术的不断进步和产品质量的提升，消费者对新能源汽车的认知度和接受度越来越高。新能源汽车在使用成本、智能化体验等方面的优势逐渐被消费者认可。同时，环保意识的增强也促使更多消费者选择购买新能源汽车。

#### 2. 消费需求多元化

除了个人消费市场，新能源汽车在出行服务、共享汽车等领域的应用日益广泛。出行服务公司大量采购新能源汽车，提高了运营效率和降低了成本。共享汽车平台也将新能源汽车作为主要的运营车辆，满足了消费者的短距离出行需求。此外，消费者对新能源汽车的需求也呈现出多样化的特点，如对不同车型、续航里程、配置等方面的需求差异较大。



## （六）面临的挑战

### 1. 充电基础设施短板

尽管充电基础设施建设取得了一定进展，但在部分地区仍存在充电难、充电慢等问题。特别是在节假日等出行高峰期，充电排队现象较为突出。此外，充电设施的布局不够合理，在偏远地区和农村地区的覆盖率较低，限制了新能源汽车的进一步推广。

### 2. 续航焦虑问题

虽然新能源汽车的续航里程不断提高，但与传统燃油汽车相比仍存在一定差距。尤其是在低温环境下，电池性能下降，续航里程缩短，导致消费者的续航焦虑仍然存在。这在一定程度上影响了消费者购买新能源汽车的意愿。

### 3. 市场竞争加剧

随着新能源汽车市场的快速发展，越来越多的企业进入该领域，市场竞争日益激烈。不仅国内企业之间竞争激烈，外资品牌和新势力企业也加大了在中国市场的布局。外资品牌凭借其品牌优势和技术积累，新势力企业凭借其创新的商业模式和用户体验，给国内传统企业带来了一定的竞争压力。

## 任务四 新能源汽车车型分析

根据各车企已发布的新能源汽车，选取了 143 款车型（其中混合动力汽车 40 款、插电式混合动力汽车 25 款、纯电动汽车 71 款、增程式电动汽车 7 款），对其相关配置和性能进行统计分析。所选取的车型不局限于中国市场，分属于中系、日系、欧系、美系和韩系等。其中，中系车型既包括吉利、奇瑞、比亚迪等自主企业的车型，也包括一汽、东风、上汽等企业推出的自主车型（不含中资和外资共同推出的合资自主车型）；日系车型包括丰田、本田、日产、三菱、马自达等企业的车型；欧系车型包括大众、奔驰、奥迪、标致、雪铁龙、保时捷、宝马等企业的车型；美系车型主要指通用和福特等企业的车型；韩系车型包括现代、起亚的车型，具体见表 1-1 所列。

表 1-1 各车型的数量

系别	混合动力汽车	插电式混合动力汽车	纯电动汽车	增程式电动汽车
中系	5	7	35	2
日系	13	4	10	1
欧系	14	8	20	4
美系	6	5	4	—
韩系	2	1	2	—
合计	40	25	71	7



## 一、混合动力汽车

混合动力汽车是指可使用内燃发动机（汽油或柴油）驱动和电力驱动两种驱动方式的车辆。该车型的优点是技术难度较低、易于推广。混合动力汽车只在一定路程范围内使用电力，各大汽车厂基本都有混合动力汽车的研发计划。目前，世界上最成功的混合动力汽车无疑是丰田的普锐斯。

(1) 各车系所占比例及布置形式。目前，中国将混合动力汽车定义为节能汽车，相关的支持和补贴的力度有限，因此国内车企对外发布的混合动力车型数量比较有限。日本和欧洲的车企在混合动力汽车的研发中起步较早，技术较为成熟，推出的车型也较多，因此欧系和日系所占比例较高。在 40 款混合动力汽车中，欧系占 35%，日系占 33%，美系占 15%，中系占 12%，韩系占 5%。

在动力的布置形式上，以前置前驱方式为主，其次为前置后驱方式，高中端车型也有采用四驱的混合动力车型。在 40 款混合动力汽车中，前置前驱占 62%，前置后驱占 24%，四驱占 11%，后置后驱占 3%。

(2) 发动机。混合动力汽车的发动机排量以中、大排量为主，在 40 款混合动力汽车中，1.6 L 以下小排量发动机占 26%，1.6~2.0 L 的占 26%，2.0~3.0 L 的占 32%，3.0 L 以上的占 16%。造成小排量发动机比例低的原因：一是混合动力系统匹配在大排量车型上的节能效果比较显著；二是混合动力系统匹配在大排量车型上对车辆价格的影响较小，更有利于市场的销售和推广。

混合动力汽车发动机的平均功率为 150.1 kW，平均转矩为 267.5 N·m。其功率和转矩分布图如图 1-1 和图 1-2 所示。

(3) 变速器。混合动力汽车主要以欧系和日系的中大排量车型为主，该排量区间的车型多为匹配自动变速器的中高端车型，受此影响，混合动力汽车的变速器也以自动变速器为主，其次为无级变速器。在 40 款混合动力汽车中，自动变速器占 58%，无级变速器占 18%，单级变速器占 15%，手动变速器占 6%，双离合变速器占 3%。

(4) 电动机。混合动力车型中采用的电动机大多是永磁电动机，电动机的平均功率为 34.3 kW，平均转矩为 187.3 N·m，如图 1-3 和图 1-4 所示。

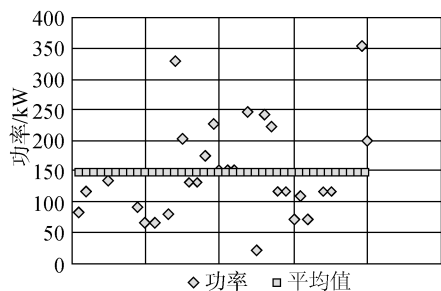


图 1-1 混合动力汽车发动机功率

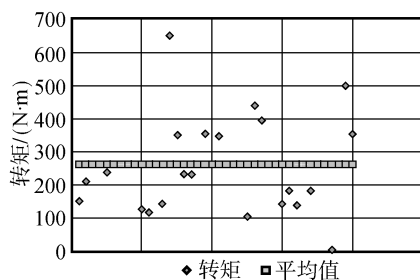


图 1-2 混合动力汽车发动机转矩



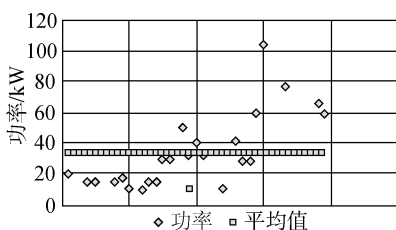


图 1-3 混合动力汽车电动机功率

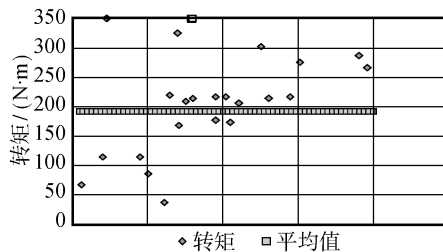


图 1-4 混合动力汽车电动机转矩

(5) 电池。混合动力汽车最初使用的都是镍氢电池，随着技术的进步及对提高电池性能的需要，锂离子电池的使用逐渐增加。在40款混合动力汽车中，镍氢电池占48%，锂离子电池占52%。混合动力汽车采用的电池能量较小，平均值约为1.27 kW·h，如图1-5所示。

(6) 续航里程。混合动力汽车的电机功率和电池能量都比较小，主要用于起/停、加/减速等工况，因此混合动力车型的纯电续航里程都非常短，通常在1~5 km，部分车型甚至没有纯电行驶功能。

混合动力汽车的发动机、变速器、电动机和电池等基本动力情况及性能参数见表1-2所列。

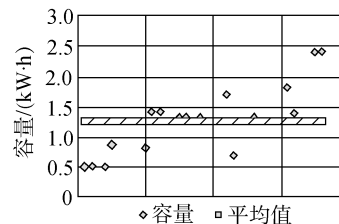


图 1-5 混合动力汽车电池能量

表 1-2 混合动力汽车主要动力配置及参数

项 目	参 数	
发动机	主要排量/L	1.6 以上
	平均功率/kW	150.1
	平均转矩/ (N·m)	267.5
	布置形式	前置前驱
变速器	主要变速机构	自动变速器
电动机	类型	永磁同步电动机
	平均功率/kW	34.3
	平均转矩/ (N·m)	187.3
电池	电池类型	镍氢电池、锂离子电池
	电池能量/ (kW·h)	1.27
纯电续航里程/km		很短，5 km 以内

从混合动力汽车的电池能量及电机的参数可以看出，混合动力汽车的电动机和电池主要起瞬时启动及加速的作用。

## 二、插电式混合动力汽车

插电式混合动力汽车可以视为在混合动力汽车的基础上，通过使用大功率电动机和较大容量的电池组并辅以外充电接口而成。插电式混合动力汽车与混合动力汽车相比：插电式混合动力汽车的电池能量相对较大，并且可以外部充电，可以在纯电模式下行驶，电池电量



耗尽后再以混合动力模式（以内燃机为主）行驶，并适时向电池充电。而普通混合动力汽车的电池容量很小，仅在起/停、加/减速时供应/回收能量，车上没有外接电源接口，也不能使用外部充电，混合动力汽车无法满足长距离纯电行驶的需求。

(1) 各车系所占比例及布置形式。国内车企发布的插电式混合动力车型比较多。在 25 款插电式混合动力汽车中，欧系占 32%，中系占 28%，美系占 20%，日系占 16%，韩系占 4%。

插电式混合动力汽车驱动形式以前置前驱车型为主，欧系的插电式混合动力汽车多为中高端车型，因此四驱车型所占比例也较大。在 25 款插电式混合动力汽车中，前置前驱占 62%，四驱占 24%，后置后驱占 9%，前置后驱占 5%。

(2) 发动机。插电式混合动力汽车的发动机以小排量为主。在 25 款插电式混合动力汽车中，1.6 L 以下小排量发动机占 61%，1.6~2.0 L 的占 26%，2.0~3.0 L 的占 9%，3.0 L 以上的占 4%。出现小排量发动机占较大比例的原因是插电式混合动力汽车匹配了较大功率的电动机和较大容量的锂离子电池组。

插电式混合动力汽车的发动机平均功率为 99.2 kW，平均转矩为 166.3 N·m。其功率和转矩分布图如图 1-6 和图 1-7 所示。

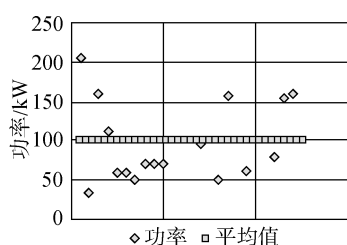


图 1-6 插电式混合动力汽车发动机功率

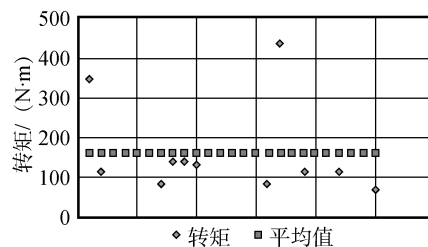


图 1-7 插电式混合动力汽车发动机转矩

(3) 变速器。插电式混合动力汽车的变速器以单级变速机构为主，其次为自动变速器和双离合变速器。在 25 款插电式混合动力汽车中，单级变速器占 44%，自动变速器占 31%，双离合变速器占 19%，无级变速器占 6%。

(4) 电动机。插电式混合动力车型中采用的电动机大多是永磁电动机，电动机的平均功率为 69.5 kW，平均转矩为 211.3 N·m，如图 1-8 和图 1-9 所示。

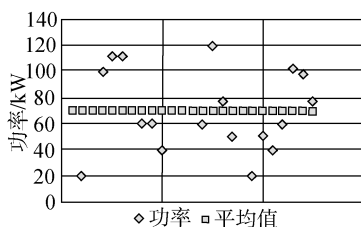


图 1-8 插电式混合动力汽车电动机功率

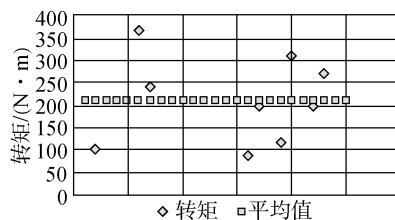


图 1-9 插电式混合动力汽车电动机转矩

(5) 电池。插电式混合动力汽车要延长车辆在纯电模式下的续航里程，必须使用高能量密度的锂离子电池。在《私人购买新能源汽车试点财政补助资金管理暂行办法》中，明确说明采用铅酸电池不在补贴范围之内，但采用锂离子电池可获得国家财政补贴。目前，已公布的插电式混合动力车型使用的都是锂离子电池。插电式混合动力汽车比普通混合动力汽车采用的电池能量要大许多，平均值为 10.4 kW·h，如图 1-10 所示。

(6) 纯电模式下续航里程和最高车速。由于插电式混合动力汽车比普通混合动力汽车的



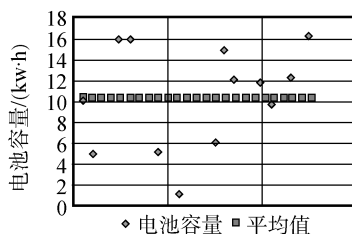


图 1-10 插电式混合动力汽车电池能量

电动机功率和电池能量都大很多，因此插电式混合动力汽车的纯电续航里程得到了加强，其平均续航里程为 52.4 km，如图 1-11 所示。在纯电动模式下，插电式混合动力汽车的最高平均速度为 136 km/h，如图 1-12 所示。

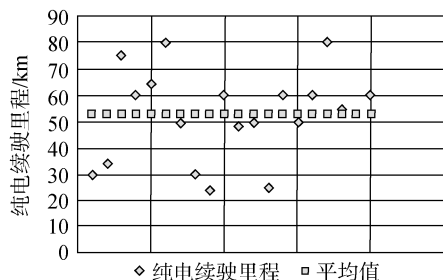


图 1-11 插电式混合动力汽车纯电模式续航里程

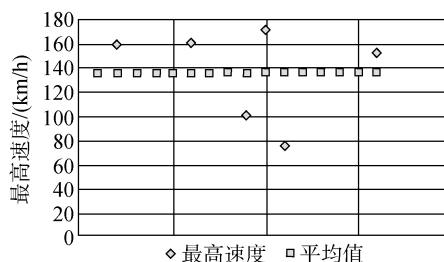


图 1-12 插电式混合动力汽车纯电模式行驶速度

插电式混合动力汽车的基本动力情况及性能参数见表 1-3 所列。

表 1-3 插电式混合动力汽车主要动力配置及参数

项 目		参 数
发动机	主要排量/L	1.6 以下
	平均功率/kW	99.2
	平均转矩/(N·m)	166.3
变速器	主要变速机构	单级变速
主要布置形式		前置前驱
电动机	类型	永磁同步电动机
	平均功率/kW	69.5
	平均转矩/(N·m)	211.3
电池	电池类型	锂离子电池
	电池能量/(kW·h)	10.4
纯电续航里程/km		52.4
纯电最高车速/(km/h)		136

从表 1-3 可以看出，插电式混合动力汽车电池的平均能量及纯电模式下的续航里程均满足《私人购买新能源汽车试点财政补助资金管理暂行办法》的要求。

### 三、纯电动汽车

纯电动汽车是指彻底取消了发动机，仅通过车载电池提供能量、由电机驱动并可行驶较



长距离的车辆。由于电能是纯电动汽车的唯一能量源，因此纯电动汽车的电池能量、电动机功率和转矩均比插电式混合动力汽车要大。为给车辆提供外接电源，纯电动汽车通常同时具有慢速充电和快速充电两种充电模式。

(1) 各车系所占比例及布置形式。在纯电动汽车上，中系车所占比例最高。在 71 款纯电动汽车中，中系占 49%，欧系占 28%，日系占 14%，美系占 6%，韩系占 3%。

电动汽车的驱动形式以前置前驱车型为主，以后置后驱车型为辅，前置后驱和四驱车型较少（仅部分车型或跑车采用四驱）。在 71 款纯电动汽车中，前置前驱占 76%，后置后驱占 20%，前置后驱和四驱分别占 2%。

(2) 变速器。纯电动汽车基本采用的都是单级变速机构，为提高变速的范围并获得更好的舒适性，纯电动车的变速机构有从单级变速机构向两级变速机构过渡的趋势。

(3) 电动机。纯电动汽车采用的电动机大多是永磁同步电动机，电动机的平均功率为 73.5 kW，平均转矩为 223 N·m，如图 1-13 和图 1-14 所示。

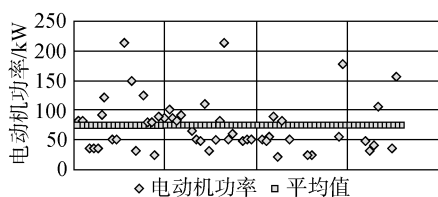


图 1-13 纯电动汽车电动机功率

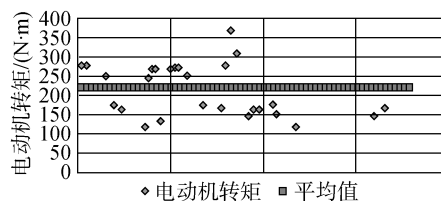


图 1-14 纯电动汽车电动机转矩

(4) 电池。纯电动汽车要延长续航里程，必须有大量容量的锂离子电池组。纯电动汽车比插电式混合动力汽车采用的电池能量还要大，平均值为 22.75 kW·h，如图 1-15 所示。

(5) 续航里程与最高车速。续航里程和最高车速是考量纯电动车性能好坏的重要指标，同时也是影响其市场竞争力的重要因素。由于纯电动汽车在行驶中完全依靠车载锂离子电池组提供能量，为获得更高的续航里程，对纯电动汽车的最高行驶速度一般有所限制。因此，纯电动汽车的最高运行速度不一定高于插电式混合动力汽车，但续航里程通常高于插电式混合动力汽车。

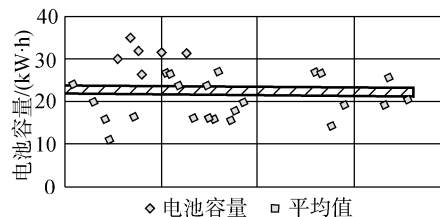


图 1-15 纯电动汽车电池容量

纯电动汽车平均续航里程为 189.2 km，如图 1-16 所示。纯电动汽车的最高平均速度为 129.8 km/h，如图 1-17 所示。

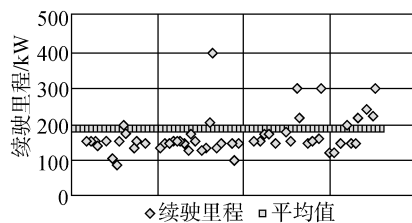


图 1-16 纯电动汽车续航里程

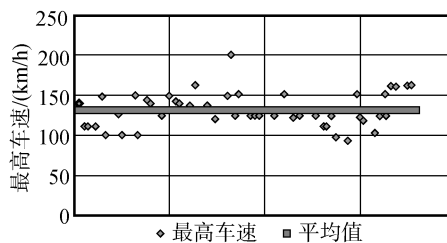


图 1-17 纯电动汽车最高行驶速度

根据分析，纯电动汽车的基本动力情况及性能参数见表 1-4 所列。



表 1-4 纯电动汽车主要动力配置及参数

项 目		参 数
变速器	主要变速机构	单级变速
主要布置形式		前置前驱
电动机	类型	永磁同步电动机
	平均功率/kW	73.5
	平均转矩/(N·m)	223
电池	电池类型	锂离子电池
	电池能量/(kW·h)	22.75
纯电续驶里程/km		189.2
纯电最高车速/(km/h)		129.8

纯电动汽车电池的平均能量为 22.75 kW·h，均满足《私人购买新能源汽车试点财政补助资金管理暂行办法》中要求的电池能量不低于 15 kW·h 的要求，同时也具备拿到最高 6 万元财政补贴的要求。

#### 四、增程式电动汽车

增程式电动汽车和纯电动汽车的驱动方式类似，也是依靠车载电池组提供能量、由电机驱动。所不同的是，增程式电动汽车有一个车载发电装置，目前该装置主要是一台经过特殊标定的、可在最高燃油效率的运转模式下运转的小排量汽油机或柴油发电机组。

增程式电动汽车由于既有纯电动汽车的锂离子电池组和电动机，也有内燃机汽车的车载发动机，因此既可以实现完全纯电行驶，也可以获得像汽油车或柴油车一样的续驶里程。增程式电动汽车本质上是一种特殊的插电式混合动力汽车。

(1) 发动机。增程式电动汽车车载发动机的排量一般在 1.0 L 以下，基本都做过特殊标定，平均功率为 57.4 kW，其主要功能为车辆的远距离运行提供电能。

(2) 变速器。增程式电动汽车的变速器与纯电动汽车类似，主要是单级变速机构。

(3) 电动机。电动机是增程式电动汽车的主要驱动机构，与插电式混合动力汽车和纯电动汽车一样，增程式电动汽车采用的也是永磁同步电动机，以前置前驱为主。主要车型电动机的平均功率和转矩分别为 67 kW 和 190 N·m。

(4) 电池。增程式电动汽车的锂离子电池组的平均能量是 19.4 kW·h。

(5) 最高车速与续驶里程。增程式电动汽车的最高平均车速为 124 km/h。增程式电动汽车的续驶里程与普通车辆基本无异，长达数百千米。

根据分析，增程式电动汽车的基本动力情况及性能参数见表 1-5 所列。

表 1-5 增程式电动汽车主要动力配置及参数

项 目		参 数
发动机	主要排量/L	1.0 以下
	平均功率/kW	57.4
变速器	主要变速机构	单级变速
主要布置形式		前置前驱



项 目		参 数
电动机	类型	永磁同步电动机
	平均功率/kW	67
	平均转矩/ (N·m)	190
电池	电池类型	锂离子电池
	电池能量/ (kW·h)	19.4
纯电续驶里程/km		数百千米
纯电最高车速/ (km/h)		124

增程式电动汽车的电池能量、电动机参数值位于插电式混合动力汽车和纯电动汽车之间，可以认为增程式电动汽车是插电式混合动力汽车向纯电动汽车过渡的一种形式。

综上所述，以上车型特点可归纳如下。

(1) 动力驱动布置形式：均以前置前驱为主。

(2) 发动机：从混合动力汽车到插电式混合动力汽车、从增程式电动汽车到纯电动汽车，发动机的排量从大至小（与之相应的是发动机的功率和转矩也是从大到小），直到取消发动机。从对石油燃料的节约利用角度来看，完全符合社会发展的趋势。

(3) 变速器：混合动力汽车的变速机构是以自动变速器为主的传统变速器的天下，但单级变速机构已开始应用于混合动力汽车；在新能源汽车上，以可以实现简单操控的单级变速机构为主，为提高车辆的变速范围和为顾客提供更好的舒适性，新能源汽车的变速机构有从单级变速向两级变速过渡的趋势。

(4) 电动机：在已确认的混合动力车型和新能源车型中，永磁同步电动机是毫无争议的主流选择；电动机的功率和转矩等参数也按混合动力汽车、插电式混合动力汽车、增程式电动汽车和纯电动汽车的纯电驱动程度增大而增大。

(5) 电池：经过多年的研究与应用，锂离子电池已成为混合动力汽车和新能源汽车的首选。电池能量的高低，对新能源汽车的续驶里程有直接影响。目前受锂离子电池的质量及成本的影响，插电式混合动力汽车的电池平均能量为 10.4 kW·h，增程式电动汽车的电池平均能量为 19.4 kW·h，纯电动汽车的电池平均能量为 22.75 kW·h。

(6) 纯电续驶里程：在一定范围内，纯电模式下的续驶里程和车载电池的容量呈线性关系，但考虑成本及车辆重量等因素，插电式混合动力汽车和纯电动汽车的续驶里程并非越长越好，而是要以符合车型的市场定位及车主的主要出行需求为原则。

(7) 纯电最高行驶速度：新能源汽车纯电模式下的最高行驶速度取决于电动机的性能和电池的剩余电量。新能源汽车均有最经济的行驶速度，提高车辆的行驶速度有助于提升驾驶乐趣，但会影响车辆的续驶里程。从节能的角度考虑，对新能源汽车的最高行驶速度应有所限制。



## 任务五 新能源汽车技术路线及关键技术

### 一、新能源汽车技术路线

#### (一) 纯电动汽车技术路线

##### 1. 技术原理

纯电动汽车（BEV）完全依靠动力电池储存的电能来驱动电机，从而带动车辆行驶。其动力系统主要由动力电池、驱动电机、电机控制器、充电系统等组成。动力电池作为能量存储装置，为电机提供电能；电机控制器根据驾驶员的操作指令，精确控制电机的转速和扭矩；充电系统则用于将外部电能补充到动力电池中。

##### 2. 发展方向

不断提高动力电池的能量密度，以增加车辆的续航里程。例如，研发新型锂离子电池、固态电池等，减少电池体积和重量，提高车辆的整体性能。

缩短充电时间是纯电动汽车发展的关键。研究和应用快速充电技术，如高功率直流快充、无线充电等，提高充电效率，改善用户体验。

将智能驾驶辅助系统、车联网技术与纯电动汽车深度融合，实现车辆的自动驾驶、远程监控、智能交互等功能，提升车辆的安全性和便捷性。

#### (二) 混合动力汽车技术路线

##### 1. 技术原理

混合动力汽车（HEV）结合了传统燃油发动机和电动机两种动力源。根据动力系统的结构和工作方式，混合动力汽车可分为串联式、并联式和混联式三种类型。串联式混合动力汽车中，发动机主要用于发电，电能驱动电机带动车辆行驶；并联式混合动力汽车中，发动机和电机可以独立或共同驱动车辆；混联式混合动力汽车则综合了串联式和并联式的特点，根据不同的行驶工况灵活切换工作模式。

##### 2. 发展方向

通过先进的控制算法，精确控制发动机和电机的工作状态，实现能量的高效利用，降低油耗和排放。

研发高性能的驱动电机，提高电机的功率密度和效率，增强混合动力汽车的动力性能。

将混合动力技术应用于更多类型的车辆，如商用车、特种车辆等，扩大混合动力汽车的市场份额。





### （三）燃料电池汽车技术路线

#### 1. 技术原理

燃料电池汽车（FCEV）以燃料电池为动力源，通过氢气和氧气的化学反应产生电能，驱动电机带动车辆行驶。燃料电池主要由阳极、阴极和电解质组成，氢气在阳极发生氧化反应，氧气在阴极发生还原反应，电子通过外部电路形成电流，同时产生水作为唯一的排放物。

#### 2. 发展方向

研发低成本的燃料电池材料和制造工艺，提高燃料电池的生产效率，降低燃料电池系统的成本，使燃料电池汽车更具市场竞争力。

开发高效的氢气储存技术，如高压气态储氢、液态储氢、固态储氢等，同时加强氢气供应基础设施建设，提高氢气的供应稳定性和便利性。

提高燃料电池系统的耐久性和可靠性，延长燃料电池的使用寿命，减少维护成本。

## 二、新能源汽车关键技术

### （一）动力电池技术

#### 1. 锂离子电池

锂离子电池主要由正极、负极、电解质和隔膜组成。在充电过程中，锂离子从正极脱出，经过电解质嵌入负极；放电过程则相反，锂离子从负极脱出，经过电解质嵌入正极，同时电子通过外部电路产生电流。

锂离子电池具有能量密度高、循环寿命长、自放电率低等优点，是目前新能源汽车应用最广泛的动力电池类型。

为不断提升电池的能量密度、安全性和快充性能，可研发新型正极材料（如高镍三元材料）、负极材料（如硅碳负极）和电解质体系（如固态电解质）。

#### 2. 固态电池

固态电池采用固态电解质代替传统的液态电解质，具有更高的能量密度、更好的安全性和更长的循环寿命。由于固态电解质不易泄漏和燃烧，降低了电池起火和爆炸的风险。

目前，固态电池仍处于研发和试验阶段，部分企业已经取得了一定的技术突破，但距离大规模商业化应用还存在一定的差距。

### （二）驱动电机技术

#### 1. 永磁同步电机

永磁同步电机利用永磁体产生磁场，通过定子绕组产生的旋转磁场与永磁体磁场相互作用，驱动电机转子旋转。

永磁同步电机具有效率高、功率密度大、调速范围宽等优点，广泛应用于新能源汽车中。进一步提高电机的功率密度和效率，优化电机的散热设计，降低电机的成本和噪声。



## 2. 感应异步电机

感应异步电机通过定子绕组产生旋转磁场，在转子绕组中感应出电流，电流产生的磁场与定子磁场相互作用，驱动电机转子旋转。

感应异步电机结构简单、可靠性高、成本低，但效率相对较低。因此，在对成本较为敏感的新能源汽车领域，它有一定的应用空间。

## （三）电子控制系统技术

### 1. 整车控制器（VCU）

整车控制器是新能源汽车的核心控制单元，负责采集车辆的各种传感器信号，如加速踏板位置、制动踏板位置、车速等，根据驾驶员的操作意图和车辆的运行状态，协调控制动力电池、驱动电机、充电系统等各个子系统的工作，实现车辆的动力输出、能量管理和安全保护等功能。

整车控制器具有高可靠性、实时性和抗干扰能力，能够在复杂的工况下稳定运行。

### 2. 电机控制器（MCU）

电机控制器主要用于控制驱动电机的运行，根据整车控制器的指令，精确调节电机的电压、电流和频率，实现电机的调速、转矩控制和能量回收等功能。

电机控制器朝着小型化、集成化、高效化的方向发展，以提高电机控制器的功率密度和效率，降低成本。

## （四）充电技术

### 1. 交流充电

交流充电通过充电桩将电网的交流电直接输送到车辆的车载充电机，车载充电机将交流电转换为直流电，为动力电池充电。

交流充电的充电速度相对较慢，但设备成本低，安装方便，适用于家庭、停车场等场所的慢速充电。

### 2. 直流充电

直流充电采用专用的直流充电桩，将电网的交流电经过整流、滤波等处理后，直接输出直流电为动力电池充电。

直流充电的充电速度快，能够在短时间内为车辆补充大量电能，但设备成本高，对电网的要求也较高，主要应用于公共充电站等场所。

### 3. 无线充电

无线充电利用电磁感应原理，通过发射线圈和接收线圈之间的电磁耦合，将电能无线传输到车辆的动力电池中。

无线充电具有使用方便、安全性高的优点，是未来充电技术的发展方向之一，但目前还存在充电效率低、成本高、标准化不足等问题，需要进一步研究和完善。

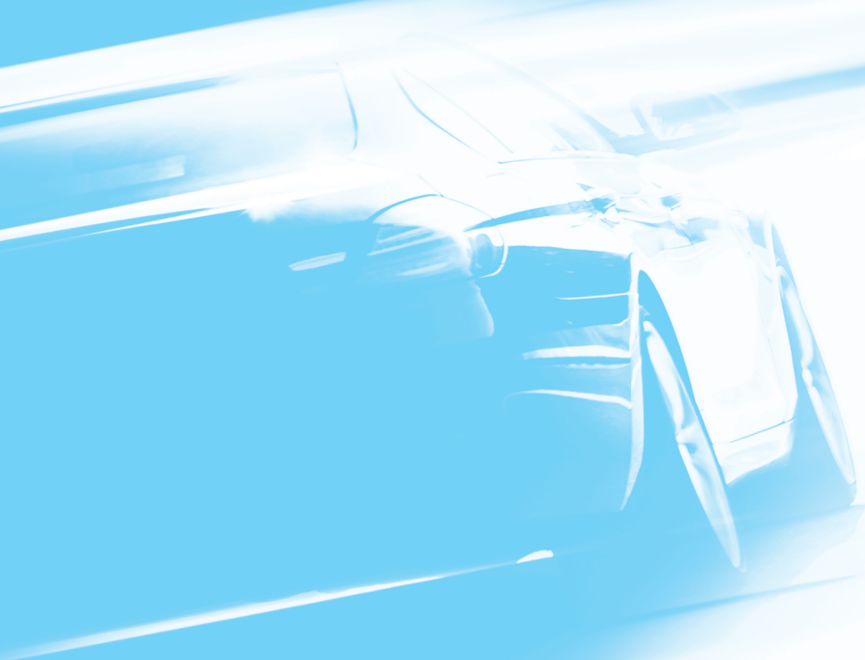




### 思考题

1. 什么是新能源汽车？新能源汽车包括哪些类型？
2. 为什么要发展新能源汽车？
3. 我国新能源汽车的技术路线是什么？





## 项目二

# 电动汽车基础

### 项目概述

蒸汽机启动了 18 世纪第一次产业革命以后，19 世纪末到 20 世纪上半叶的第二次产业革命，使人类进入了电气化时代。20 世纪下半叶的信息技术引发的第三次产业革命，使生产和消费从工业化时代向自动化、智能化时代转变，推动了新一代高性能电动机驱动系统与伺服系统的研究与发展。21 世纪伊始，世界汽车工业又站在了革命的门槛上；电动车（包括纯电动车、混合动力汽车、燃料电池电动车）概念的提出，将会是未来世界汽车工业发展的新方向。

本项目将介绍电动汽车的电动机、动力电池等电动汽车的核心技术。



## 任务一 电动机

电动汽车在不同的历史时期采用了不同的电动机，最早是采用了控制性能好和成本较低的直流电动机。随着电子技术、机械制造工艺技术及自动控制技术的发展，电动车（混合动力汽车）性能的提高，其高负载下转速的限制、体积大等缺点逐渐暴露，取而代之的是交流异步电动机、永磁电动机、开关磁阻电动机以及新型的双凸极永磁电动机，上述电动机用于电动汽车上所表现出来的性能也越来越优越。

### 一、电动汽车电动机的相关概念

#### 1. 电动机的定义

电动机是把电能转换成机械能的一种设备。它是利用通电线圈（也称“定子绕组”）产生旋转磁场并作用于转子（如鼠笼式闭合铝框）形成磁电动力旋转转矩。

电动机主要由定子与转子组成，通电导线在磁场中受力运动的方向跟电流方向和磁感线（磁场方向）方向有关。电动机工作原理是磁场对电流受力的作用，使电动机转动。

#### 2. 负载性质

负载性质是指负载类型及其机械特性是连续运行的负载还是断续运行的负载，是恒定的转矩还是变化的转矩，是恒转速运行还是变速运行等。在改变负载时，表示负载转速与驱动负载所需转矩之间的关系称为负载的转矩转速特性，该特性是选择电动机的最基本因素。

#### 3. 负载容量

负载容量是根据电动机功率和转矩的大小而确定的，电动机功率的选择应满足配套机械负载必需的容量，功率选得不要过大，也不可以过小。功率选得过大，不能充分发挥电动机效率，且增加投资费用和运行费用，浪费电力；功率选得过小，会使电动机超负荷工作，电动机发热量大，绝缘寿命缩短。

### 二、电动汽车用电动机分类

电动汽车驱动电动机种类如图 2-1 所示。

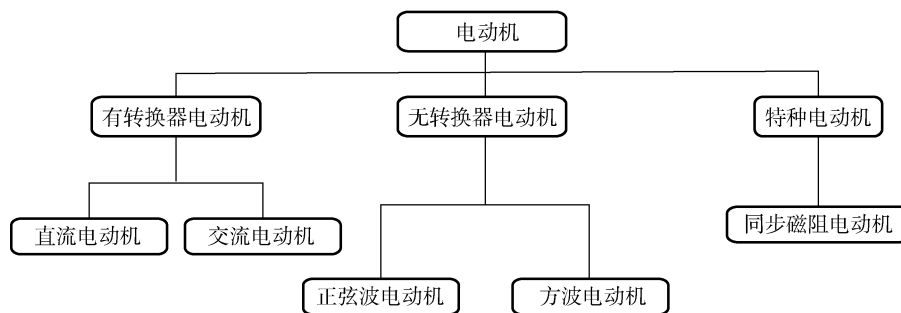


图 2-1 电动汽车驱动电动机种类



### 1. 按工作电源分类

根据电动机工作电源的不同,可分为直流电动机和交流电动机。交流电动机与直流电动机相比较,交流电动机的体积小、重量轻、效率高,在采用变频调速技术时,其调速范围宽,可靠性约为直流电动机的6倍,维护保养费用低。交流电动机还分为单相电动机和三相电动机。

### 2. 按结构及工作原理分类

电动机按结构及工作原理可分为同步电动机和异步电动机。同步电动机还可分为永磁同步电动机、磁阻同步电动机和磁滞同步电动机。异步电动机可分为感应电动机和交流换向器电动机。交流换向器电动机又分为单相串励电动机、交直流两用电动机和推斥电动机。

### 3. 按启动与运行方式分类

电动机按启动与运行方式可分为电容启动式单相异步电动机、电容运转式单相异步电动机、电容启动运转式单相异步电动机和分相式单相异步电动机。

### 4. 按运转速度分类

电动机按运转速度可分为高速电动机、低速电动机、恒速电动机和调速电动机。

### 5. 按绝缘等级分类

电动机按绝缘等级分为Y级、A级、E级、B级、F级、H级、C级,见表2-1所列。

表 2-1 电动机按绝缘等级分类

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
工作极限温度/°C	90	105	120	130	155	180	>180
温升/°C	50	60	75	80	100	125	—

### 6. 按额定工作制分类

电动机按额定工作制可分为连续工作制、短时工作制和断续工作制。

(1) 连续工作制 ( $S_1$ )。电动机在铭牌规定的额定值条件下,保证长期运行。

(2) 短时工作制 ( $S_2$ )。电动机在铭牌规定的额定值条件下,只能在限定的时间内短时运行。短时运行的持续时间标准有10 min、30 min、60 min及90 min四种。

(3) 断续工作制 ( $S_3$ )。电动机在铭牌规定的额定值条件下,只能断续周期性使用,用每周期10 min的百分比表示。

## 三、电动汽车常用的电动机

电动汽车驱动电动机主要包括直流电动机和交流电动机。目前,广泛使用的交流电动机有交流感应电动机、开关磁阻电动机和永磁电动机(包括无刷直流电动机和永磁同步电动机)。

### 1. 直流电动机

(1) 定义。直流电动机(direct current motor, DCM)是将直流电能转换为机械能的电动机。电动机定子提供磁场,直流电源向转子的绕组提供电流,换向器使转子电流与磁场产生的转矩保持方向不变。



(2) 特点。

①调速性能好。调速性能是指电动机在一定负载条件下，根据需要，人为地改变电动机的转速。直流电动机可以在重负载条件下，实现均匀、平滑地无级调速，而且调速范围较宽。

②启动转矩大。直流电动机可以均匀而经济地实现转速调节，因此凡是在重负载下启动或要求均匀调节转速的机械，如大型可逆式轧机、卷扬机、电力机车、电车等，都用直流电动机拖动。

③高速性能不佳。由于存在电刷和换向器，因此其高速性能及可靠性受到影响。随着电力电子技术、自动控制技术和计算机技术的发展，直流电动机已逐步被交流电动机替代。

(3) 构造。直流电动机的结构分为定子与转子两部分。其中，定子包括主磁极、机座、换向极、电刷装置等；转子包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器、轴和风扇等。

## 2. 交流感应电动机

(1) 定义。交流感应电动机 (alternating current induction motor, ACIM) 又称“交流异步电动机”，由定子绕组形成的旋转磁场与转子绕组中感应电流的磁场相互作用而产生电磁转矩驱动转子旋转的交流电动机 (图 2-2)。

转子是可转动的导体，通常多呈鼠笼状。定子是电动机中不转动的部分，主要任务是产生一个旋转磁场。旋转磁场并不是用机械方法来实现的，而是以交流电通于数对电磁铁中，使其磁极性质循环改变，故相当于一个旋转的磁场。这种电动机并不像直流电动机有电刷或集电环，依据所用交流电的种类有单相电动机和三相电动机。单相电动机用于洗衣机、电风扇等，三相电动机则用于工厂的动力设备。

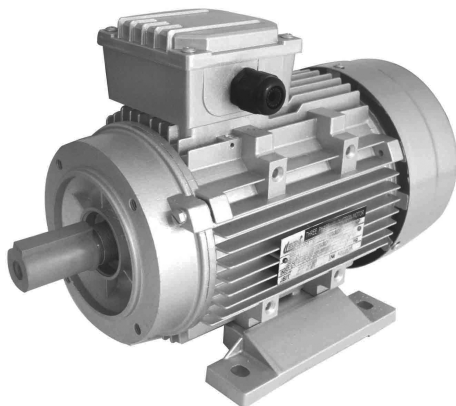


图 2-2 交流感应电动机

(2) 特点。交流感应电动机具有结构简单、坚固耐用、成本低廉、运行可靠、低转矩脉动和低噪声的特点，近年来被广泛应用于汽车。其最大的缺点是驱动电路复杂，相对于永磁电动机而言，感应电动机 (异步电动机) 效率和功率密度偏低。

(3) 工作原理。异步电动机定子上有三相对称的交流绕组。三相对称交流绕组通入三相对称交流电流时，将在电动机气隙空间产生旋转磁场，转子绕组的导体处于旋转磁场中，转子导体切割磁力线，并产生感应电动势。转子导体通过端环自成闭路，并通过感应电流。异步电动机设计、生产特别要注意标准化、系列化、通用化。

## 3. 开关磁阻电动机



图 2-3 电动汽车的开关磁阻电动机

(1) 定义。开关磁阻电动机 (switched reluctance motor, SRM) 是继变频调速系统、无刷直流电动机调速系统之后发展起来的最新一代无级调速系统，是集现代微电子技术、数字技术、电力电子技术、红外光电技术及现代电磁理论、设计和制作技术为一体的光、机、电一体化高新技术产品 (图 2-3)。它具有调速系统，兼具直流、交流两类调速系统的优点。

英、美等经济发达国家对开关磁阻电动机调速系统的研究起步较早，并已取得显著效果，开关磁阻电动机，已



成功地应用于电动车驱动、通用工业、家用电器和纺织机械等各个领域，产品功率范围 10 W~5 MW，最大速度达 100 000 r/min。

(2) 特点。开关磁阻电动机调速系统的性能特点主要表现在以下几方面。

①结构简单。开关磁阻电动机结构简单、成本低，可用于高速运转。其突出的优点是转子机械强度极高，可以用于超高速运转（如每分钟上万转）；在定子方面，它只有几个集中绕组，因此制造简便，绝缘结构简单。

②启动转矩大，启动电流低。控制器从电源侧吸收较少的电流，得到较大的启动转矩是本系统的一大特点。启动电流小而转矩大的优点还可以延伸到低速运行段，因此本系统十分适合需要重载启动和较长时间低速重载运行的机械。

③适用于频繁起、停及正、反向转换运行。本系统具有的高启动转矩、低启动电流的特点，使之在启动过程中电流冲击小，其电动机和控制器发热较连续额定运行时还要小。可控参数多使其制动运行能与电动机运行具有同样优良的转矩输出能力和工作特性，适用于频繁起、停及正、反向转换运行，次数可达 1 000 次/h。

④可控参数多，调速性能好。可以根据对电动机的运行要求和电动机的情况，采取不同控制方法和参数值，即可使之运行于最佳状态（如出力最大、效率最高等），还可使之实现各种不同功能的特定曲线运行。如使电动机具有完全相同的四象限运行能力，并具有最高启动转矩和串励电动机的负载能力曲线。

⑤效率高，损耗小。本系统是一种非常高效的调速系统。这是因为一方面其电动机绕组无铜损；另一方面其电动机可控参数多，灵活方便，易于在宽转速范围和不同负载下实现高效优化控制。其可通过机和电的统一协调设计，满足各种特殊使用要求。

⑥缺点。转矩脉冲大，噪声大，相对于永磁电动机而言，其功率密度和效率偏低。

#### 4. 永磁电动机

与传统的电励磁电动机相比，永磁电动机特别是稀土永磁电动机具有结构简单、运行可靠、体积小、质量小、损耗少、效率高，以及电动机的形状和尺寸可以灵活多样等显著优点，因此其应用范围极为广泛，几乎遍及航空航天、国防、工农业生产和日常生活的各个领域。

永磁电动机（permanent magnet motor, PMM）包括反电动势为方波的无刷直流电动机和反电动势为正正弦波的永磁同步电动机。

(1) 无刷直流电动机。无刷直流电动机可以看作一台用电子换向装置取代机械换向的直流电动机。无刷直流电动机主要由永磁电动机本体、转子位置传感器和电子换向电路组成（图 2-4）。无论是结构或控制方式，无刷直流电动机与传统的直流电动机都有很多相似之处：用装有永磁体的转子取代有刷直流电动机的定子磁极；用具有多相绕组的定子取代电枢；用由固态逆变器和轴位置检测器组成的电子换向器取代机械换向器和电刷。无刷直流电动机具有高转矩密度、高功率密度，位置检测和控制方法简单、效率高等优点。但因换向电流难以达到理想状况，造成电动机存在一定程度的转矩脉动及振动噪声，故较适合应用于减速系统和车速不高的电动汽车。

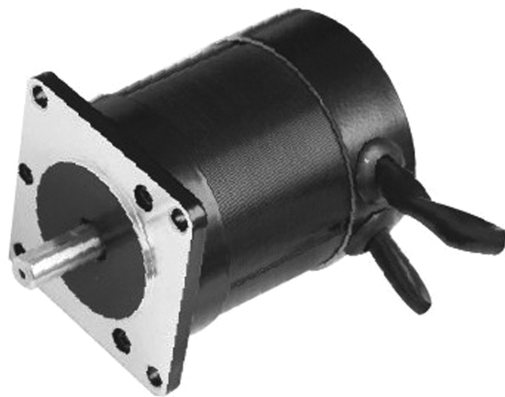


图 2-4 无刷直流电动机



(2) 永磁同步电动机。虽然永磁同步电动机的运行原理与电励磁同步电动机相同，但它以永磁体提供的磁通替代后者的励磁绕组励磁，使其电动机结构较为简单，降低了加工和装配费用，且省去了容易出问题的集电环和电刷，提高了其电动机运行的可靠性；又因无须励磁电流，省去了励磁损耗，提高了电动机的效率和功率密度。因而它是近年来研究得较多并在各个领域中的应用越来越广泛的一种电动机。

(3) 分类。永磁同步电动机的转子结构按定子、转子的内外关系，可分为外转子结构和内转子结构。通常使用的内转子结构可分为三种：爪极式、表面式和内置式。爪极式结构一般只用于低性能的永磁同步电动机；表面式转子结构中的永磁体通常呈瓦片形状，位于转子铁芯的外表面上，提供磁通的方向为径向；而内置式转子结构中的永磁体通常为条状，位于转子铁芯的内部，提供的磁通方向和转子具体的结构形式有关。

永磁同步电动机有如下特点。

(1) 高启动转矩、高过载能力。稀土永磁同步电动机启动转矩和过载能力均比三相异步电动机高出一个功率等级，其最大启动转矩与额定转矩之比可达 3.6，而一般异步电动机仅为 1.6。

(2) 运行效率高、节能效果尤为明显。永磁同步电动机与感应电动机相比，不需要无功励磁电流就可以显著提高功率因数（可达到 1，甚至容性），减少了定子电流和定子电阻损耗，而且在稳定运行时没有转子电阻损耗，可以因总损耗降低而减小风扇（小容量电动机甚至可以去掉风扇）和相应的风摩损耗，从而使其效率比同规格感应电动机提高 2%~8%。表 2-2 为电动汽车常用电动机的比较。

表 2-2 电动汽车常用电动机的比较

项 目	直流电动机	感应电动机	永磁电动机	开关磁阻电动机
比功率	低	中	高	较高
峰值效率/%	85~89	94~95	95~97	90
负荷效率/%	80~87	90~92	85~97	78~86
功率因数/%	—	82~85	90~93	60~65
恒功率区	—	1:5	1:2.25	1:3
转速范围/(r/min)	4 000~6 000	12 000~15 000	4 000~10 000	可大于 15 000
可靠性	一般	好	优良	好
结构的坚固性	差	好	一般	优良
电动机外廓	大	中	小	小
电动机质量	大	中	小	小
电动机成本/(\$/kW)	10	8~12	10~15	6~10
控制操作性能	最好	好	好	好
控制器成本	低	高	高	一般

#### 四、电动汽车电动机的选用策略

电力驱动系统是电动汽车的心脏。电动汽车的电力驱动系统包括电动机驱动装置、机械传动装置。在电动机驱动装置中电动机是汽车驱动系统的核心。在确定电动汽车所采用的电动机时，应采用技术成熟、性能可靠、控制方便和价格便宜的现成的电动机。一般情况下，



电动机性能必须充分满足单独用电力驱动模式行驶工况时的要求：在低速时，电动机应具有大的转矩和超载能力；在高速运转时，电动机应具有大的功率和有较宽阔的恒功率范围；其必须有足够的动力性能来克服整车的各种阻力，保证其有良好的启动、加速性能和行驶速度及实现制动时的能量回收。因此，选择合适的电动机对提升电动汽车的性能有着至关重要的作用。

①电动汽车上所使用的电动机往往需要频繁启动，加、减速和切换工作模式，这对电动机的响应性提出了更高的要求。

②在允许的范围内，应尽可能采用高电压，可以减小电动机的尺寸和导线等装备的尺寸，特别是可以降低逆变器的成本。丰田普锐斯（Prius）由 THS 的 274 V 提高到 THS II 的 500 V，在尺寸不变的情况下，最大功率由 33 kW 提高到 50 kW，最大转矩由 350 N·m 提高到 400 N·m。汽车由于内部空间紧张，往往要求电动机系统体积小、质量轻，以及具有较高的功率密度和工作效率等性能。

③相对于传统电动机，电动汽车所使用的电动机系统的工作环境更加恶劣，干扰更大，从而要求它具有更高的可靠性、抗震性和抗干扰性；需要有 4~5 倍的过载，以满足短时加速行驶与最大爬坡时的要求（一般的工业电动机只要 2 倍即可）。

④传统电动机一般工作在额定工作点附近，而电动汽车电动机的工作范围相对较宽，但由于电动机工作模式的特殊性，额定功率这个参数对于电动机而言，没有太大意义。

⑤现在混合动力汽车上主要采用能够实现变频、调速的高转速电动机，高速电动机的转速在 10 000~12 000 r/min。在高速运转时，要有更大的功率和较宽阔的恒功率范围，体积较小且质量较小，但要求装置高精度的高速轴承，需要用高品质的材质来制作，并要保证高效率地冷却。表 2-3 列出了电动汽车中不同电动机的优缺点。

表 2-3 电动汽车中不同电动机的优缺点

电动机类型	优点	缺点
交流感应电动机	结构简单，成本低，易维护	发生二次励磁损耗，效率低
开关磁阻电动机	转子结构简单，成本较低	效率较低，运转振动和噪声大
永磁电动机	效率高，转矩大，功率密度高	控制复杂，成本高

由于存在上述区别，车用驱动电动机应满足如下要求：

- ①体积小，质量轻；
- ②在整个运行范围内的高效率；
- ③低速大转矩特性及宽范围恒功率特性；
- ④良好的环境适应性和高可靠性；
- ⑤价格低。

## 扩展阅读

### 丰田普锐斯电动汽车电动机

丰田公司油电电动系统的电动机中采用了交流同步原动机。该装置一直到高旋转带都可高效地产生高转矩，同时可任意控制转速和产生的转矩。

另外，它还拥有小型、轻量、高效等特点，具有优秀的动力性能，可进行顺畅的启动、加速等各种操作。

丰田普锐斯电动汽车电动机构造及性能曲线如图 2-5 所示。



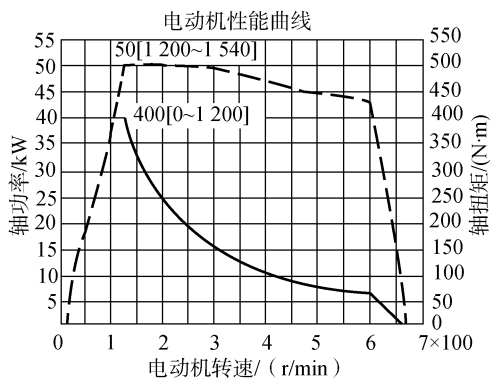


图 2-5 丰田普锐斯电动汽车电动机构造及性能曲线

丰田普锐斯电动汽车电动机采用三相交流方式，能根据行驶情况准确地控制旋转磁场和旋转磁石的角度；将转子内的永久磁石排列成理想的“V”字形；电动机的最大电压为 500 V，最大输出功率为 50 kW，最大转矩为 400 N·m。

## 任务二 蓄 电 池

早在 1873 年，英国人就首先制造了使用蓄电池作为储能装置的电动汽车，但由于燃油发动机汽车的综合性能大大提高，而蓄电池技术发展缓慢，电动汽车才逐渐被燃油发动机取代。然而，随着能源问题、环境问题的日益严峻，能实现“当地零排放”的电动汽车又一次成为人们关注的焦点。在目前的电动汽车上，车载动力源一般都是各式各样的蓄电池，利用周期性的充电来补充电能。

### 一、蓄电池的定义与分类

#### 1. 蓄电池的定义

蓄电池是指盛有电解质溶液和金属电极以产生电流的杯、槽或其他容器或复合容器的部分空间。

#### 2. 蓄电池的记忆效应和消除方法

如果蓄电池属镉镍蓄电池，长期不彻底充、放电，会在蓄电池内留下痕迹，降低蓄电池容量，这种现象被称为蓄电池记忆效应。

消除记忆的方法是先把蓄电池完全放电，然后重新充满。放电可利用放电器或具有放电功能的充电器，确保蓄电池能重新充满。应依照蓄电池说明书的指示来控制时间，重复充、放电两至三次，这样就可以清除蓄电池的记忆效应。

#### 3. 蓄电池的分类

根据不同的分类方法，蓄电池大体上可分为四大类。



(1) 按电解液种类分类。

①碱性蓄电池。这类蓄电池的电解质主要以氢氧化钾水溶液为主，如碱性锌锰蓄电池（也称“碱锰蓄电池”或“碱性蓄电池”）、镉镍蓄电池、镍氢蓄电池等。

②酸性蓄电池。这类蓄电池的主要以硫酸水溶液为介质，如锌锰干蓄电池（有的消费者也称其为“酸性蓄电池”）、海水蓄电池等。

③有机电解液蓄电池。其主要以有机溶液为介质，如锂蓄电池、锂离子蓄电池等。

(2) 按工作性质分类。

①一次蓄电池，又称“原蓄电池”，即不能再充电的蓄电池，如锌锰干蓄电池、锂原蓄电池等；

②二次蓄电池，即可充蓄电池，如镍氢蓄电池、锂离子蓄电池、镉镍蓄电池等。

(3) 按储存方式分类。

①铅酸蓄电池。蓄电池习惯上指铅酸蓄电池，也称为“可充电的二次性蓄电池”。它能将电能转变成化学能并储存起来，在使用时再将化学能转换成电能。

②燃料蓄电池，即活性材料在蓄电池工作时才连续不断地从外部加入蓄电池，如氢氧燃料蓄电池等。储备蓄电池，即蓄电池储存时不直接接触电解液，直到蓄电池使用时，才加入电解液，如镁化银蓄电池等。

(4) 按蓄电池所用正、负极材料分类。

①锌系列蓄电池，如锌锰蓄电池、锌银蓄电池等；

②镍系列蓄电池，如镉镍蓄电池、氢镍蓄电池等；

③铅系列蓄电池，如铅酸蓄电池等；

④锂系列蓄电池，如锂锰蓄电池等；

⑤二氧化锰系列蓄电池，如锌锰蓄电池、碱锰蓄电池等；

⑥空气（氧气）系列蓄电池，如锌空气蓄电池等。

如图 2-6 所示为化学蓄电池的分类。

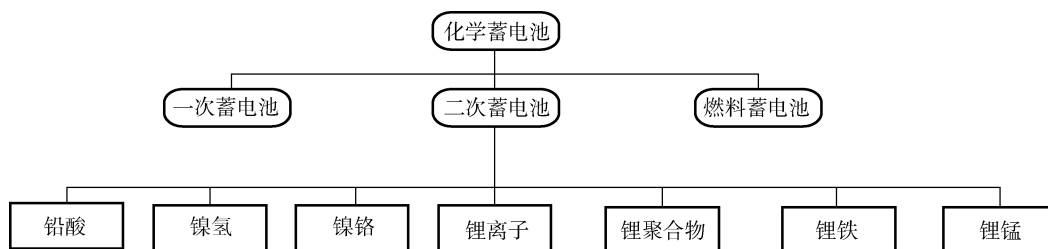


图 2-6 化学蓄电池分类

#### 4. 蓄电池主要性能指标

(1) 比能量是指单位质量的电能储存装置所能输出的能量，单位为 J/kg、W·h/kg、kW·h/kg。比能量越高，汽车用电能行驶的距离越长。

(2) 能量密度是指单位体积电能储存装置所能输出的能量，单位为 W·h/L、kW·h/L。能量密度越高，汽车的载质量和车内空间越大。

(3) 比功率是指单位质量电能储存装置所具有电能的功率，单位为 W/kg、kW/kg。比功率越大，汽车加速、爬坡性能越好，最高车速越高。

(4) 功率密度是指单位体积电能储存装置具有的电能功率，单位为 W/L、kW/L。密度越大，汽车的载重能力和车内空间利用率越高。



(5) 寿命是指蓄电池使用时间的长短、放电循环次数的多少。单位为年、小时或循环次数。

(6) 充放电效率是指充入/输出电能储存装置的电能占充电/放电时消耗电能的百分比。荷电状态(SOC)是指剩余容量与全荷电容量的比值。

(7) 自放电率是指蓄电池在存放时间内,在没有负荷的条件下自身放电,使得蓄电池容量损失的速度,自放电率用单位时间(月/年)内蓄电池容量下降的百分数来表示。

(8) 按一定标准规律地放电。当蓄电池的容量降到某一个规定值以前,就要停止继续放电,然后需要充电才能继续使用(锂离子动力蓄电池充放电控制在40%~70%)。随着充放电次数的增加,蓄电池中的化学活性物质会发生老化变质,逐渐削弱其化学功能,使得蓄电池的充电和放电效率逐渐降低,最后导致蓄电池丧失全部功能而报废。

蓄电池充电和放电的循环次数与蓄电池的充电和放电形式、蓄电池的温度和放电深度有关,放电深度“浅”时,有利于延长蓄电池的寿命。

## 二、电动汽车常用的蓄电池

### 1. 动力蓄电池的定义

动力蓄电池即为工具提供动力来源的电源。其多指为电动汽车、电动列车、电动自行车、高尔夫球车等提供动力的蓄电池。动力蓄电池组是电动汽车的关键装备,它储存的电能、质量和体积对电动汽车的性能起到决定性的影响。

### 2. 动力蓄电池的分类

电动汽车的动力蓄电池可以分为二次蓄电池、超级电容器和飞轮蓄电池三大类。

①二次蓄电池又叫“可充电蓄电池”,主要有铅酸蓄电池、镍氢蓄电池、锂离子蓄电池、镍金属氢化物蓄电池。

②超级电容器又叫“电化学电容器”,是新型双电层电容器,具有电容量大的特点。

③飞轮蓄电池又叫“飞轮储能器”,是利用飞轮高速旋转储存和释放电能的装置。

## 知识拓展

目前,电动汽车用动力蓄电池已经经过了三代的发展。

第一代电动汽车用蓄电池都是铅酸蓄电池。由于铅酸蓄电池的比能量和比功率不能满足电动汽车动力性能的要求,所以就进一步发展了阀控铅酸蓄电池、铅布蓄电池等,使得铅酸蓄电池的比能量有所提高。

第二代的高能蓄电池有镉镍蓄电池、镍氢蓄电池、钠硫蓄电池、锂离子蓄电池等。第二代动力蓄电池的比功率和比能量都比铅酸蓄电池高出很多,大大提高了电动汽车的动力性和续驶里程。但是第二代动力蓄电池依然是在“电能—化学能—电能”的化学反应过程中储存和供给电能,有一些特殊使用条件和一定的局限性,其中有些高能蓄电池还需要复杂的蓄电池管理系统和温度控制系统,各种蓄电池对充电技术也有不同的要求。而且第二代蓄电池在使用一定的次数后会出现老化甚至报废的情况,几乎或者完全丧失充、放电能力,并且会造成污染。这无疑又增加了电动汽车的使用成本。

第三代蓄电池是以燃料蓄电池为主的蓄电池,燃料蓄电池直接将燃料的化学能转化成电能,能量转化的效率高,比能量和比功率高,并且燃料蓄电池在能量转化过程中可以连续进行,反应过程能够被有效地控制,是比较理想的燃料蓄电池电动汽车用蓄电池。但是燃料蓄电池的燃



料往往有毒有害，而且价格昂贵，需要对车辆进行额外设计，增加了设计和制造成本。

此外，飞轮储能器、超级电容也是常见的电动汽车车载动力源。飞轮储能器是电能—机械能—电能转换装置，可以瞬间输出很高的功率。而超级电容具备了电能—电能—电能转换的能力，而且其充放电时间比起传统蓄电池来说有很大的提高。

以上种种装置都有自己的优缺点，但是综合现有技术条件以及相关技术成本，现代电动汽车普遍使用先进的高能蓄电池作为动力源。

动力蓄电池组一般输出直流电，然后经过变频器或逆变器转换成频率和电压幅值可调的交流电，供给驱动电动机来驱动车辆行驶。纯电动汽车所采用的动力蓄电池组，要求有较大的比能量，而电动汽车所采用的动力蓄电池组，则要求有较大的比功率，两种蓄电池在性能方面各有侧重。

现在的动力蓄电池都是使用高能蓄电池，使电动汽车的动力性能不断提高，一次充电后的续驶里程也不断延长。

### 3. 电动汽车常用的蓄电池

在电动汽车上使用的蓄电池主要是铅酸蓄电池、镍氢蓄电池和锂离子蓄电池。例如，克莱斯勒 ESX2 采用铅酸蓄电池，丰田 Prius 和本田 Insight 采用镍氢蓄电池，日产 Tino 采用锂离子蓄电池。

(1) 铅酸蓄电池。铅酸蓄电池的结构如图 2-7 所示。

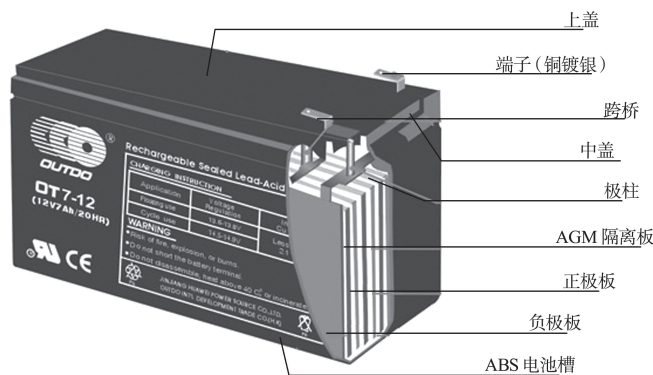


图 2-7 铅酸蓄电池的结构

铅酸蓄电池可分为注水式铅酸蓄电池和阀控式铅酸蓄电池两类。前者廉价但需要经常维护；后者可通过安全控制阀自动调节密封蓄电池体内因充电或工作异常产生的多余气体，免维护。铅酸蓄电池作为纯电动汽车动力电源在比能量、深放电循环寿命、快速充电等方面均比镍氢蓄电池、锂离子蓄电池差，不适合用于电动轿车。但由于其价格低廉，其主要应用于在速度不高、路线固定、充电站设立容易规划的车辆上和作为启动机及电子电器设备的电源。

电动道路车辆用蓄电池以“电”的汉语拼音“D”表示，阀控密封式铅酸蓄电池以“M”表示，免维护铅酸蓄电池以“W”表示。如 6DM55，表示单体蓄电池为 6 只、额定容量为 55Ah 的电动车辆用阀控密封式铅酸蓄电池。

铅酸蓄电池的不足：比能量低，在电动汽车中所占的质量和体积较大，一次充电行驶里程短；使用寿命短，使用成本高；铅是重金属，存在污染（铅毒、酸雾、镉和砷、镉）；充电时间长。

如图 2-8 所示为可溶性玻璃纤维铅酸蓄电池。



(2) 镍氢蓄电池。镍氢蓄电池是 20 世纪 90 年代发展起来的一种新型蓄电池。它的正极活性物质主要由镍制成，负极活性物质主要由储氢合金制成，是一种碱性蓄电池。

镍氢蓄电池具有高比能量、高功率，适合大电流放电、可循环充放电，无污染、耐过充过放、无记忆效应、使用温度范围宽，安全可靠等特点，被誉为“绿色电源”。

目前，镍氢蓄电池主要应用于混合电动车。全球 70% 以上的镍氢蓄电池在中国生产，中国镍氢蓄电池企业主要包括超霸、豪鹏、比亚迪、环宇、科力远、力可兴、三普、迪生、三捷、量能、格瑞普等。日本企业松下、汤浅、三洋已将小型镍氢蓄电池生产转移到中国，大型镍氢蓄电池也主要由松下生产。



图 2-8 Smart Fortwo MDH 上使用的 AGM 可溶性玻璃纤维铅酸蓄电池

大功率的镍氢蓄电池也应用于油电混合动力车辆中，最佳的例子就是丰田的 Prius，该车使用了特别的充放电程序，使蓄电池充放电寿命足够车辆使用 10 年。其他使用镍氢蓄电池的混合动力车辆有福特汽车的 Ford Escape、雪佛兰的 Chevrolet Malibu (图 2-9)、本田的 Honda Civic Hybrid。



图 2-9 雪佛兰 Chevrolet Malibu 的镍氢蓄电池

从目前车用蓄电池的发展来看，镍氢蓄电池可能是电动汽车动力能源的首选蓄电池，它已经规模化生产，性能稳定，其在质量比、体积比、功率、蓄电池寿命和重复充放电次数等方面均已达到美国先进电池联盟 (USABC) 性能指标。从产品规模化、生产程度和发展前景看，有可能成为电动汽车用蓄电池的潜在竞争者，其容量大、体积质量小的优点正符合现代电动汽车的要求。

(3) 锂离子蓄电池。锂离子蓄电池是 1990 年由日本索尼公司首先推向市场的新型高能蓄电池。锂离子蓄电池具有工作电压高、比能量高、充放电寿命长、无记忆效应、无污染、快速充



电、自放电率低、工作温度范围宽、安全可靠和能够制造成任意形状等优点，主要集中在大容量、长寿命和安全性三个方面。如图 2-10 所示为我国自主开发的锂离子蓄电池。



图 2-10 我国自主开发的锂离子蓄电池

锂离子蓄电池的负极是储锂材料，正极是含锂的过渡金属化合物  $\text{LiCoO}_2$ 、 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 、 $\text{LiFePO}_4$  等，电解质是锂盐的有机溶液或聚合物。

锂离子蓄电池也有一些不足，主要表现在以下两方面。

①成本高。主要是正极材料  $\text{LiCoO}_2$  的价格高，按单位瓦时的价格来计算，已经低于镍氢蓄电池，与镍镉蓄电池持平，但仍然高于铅酸蓄电池。

②必须有特殊的保护电路，以防止过充电。

如图 2-11 所示为奔驰 S400 Blue Hybrid 上的锂离子蓄电池。

表 2-4 列出了动力蓄电池种类及其性能对比。



图 2-11 奔驰 S400 Blue Hybrid 上的锂离子蓄电池

表 2-4 动力蓄电池种类及其性能对比

蓄电池型号	质量比能量/ ( $\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}^{-1}$ )	质量比功率/ ( $\text{W}/\text{kg}^{-1}$ )	循环次数/次
铅酸蓄电池	33	130	400~500
镍氢蓄电池	40~60	550~1 350	>1 000
锂离子蓄电池	100	>1 300	>1 000
电动汽车对动力蓄电池的基本要求	(1) 比能量要高； (2) 充电时间要短； (3) 连续放电率高，自放电率低		



## 扩展阅读

## 丰田普锐斯电动汽车蓄电池

镍氢蓄电池拥有最高的输入输出密度，且轻型、耐用。

安装在普锐斯轿车油电混合动力系统上的高输出镍氢蓄电池（图 2-12）除了具有高输入输出密度（每质量的输出）和重量轻、寿命长等特点外，还无须利用外界电源进行充电，也无须定期交换。

这种蓄电池具有电极材料及单蓄电池（一个镍氢蓄电池）之间的连接结构，减少了镍氢蓄电池的内部电阻，因此，安装在普锐斯上的蓄电池单元实现了约 540 W/kg 的输入输出密度，居世界最高水平。

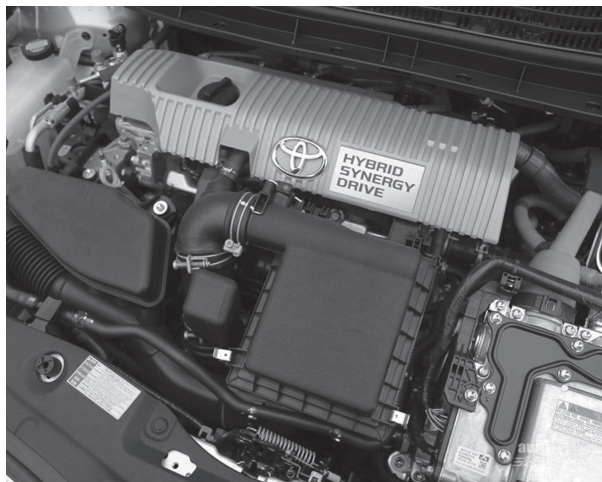


图 2-12 丰田普锐斯电动汽车蓄电池

另外，这种蓄电池使用车辆加速时的放电、减速时的再生制动器，以及用发动机行驶时产生的剩余能量来进行充电，从而累积充电放电电流，使充电状态保持稳定，不会出现放电过多或多余充电等现象，因此，其使用寿命非常长。

### 三、蓄电池能量管理技术

目前，蓄电池能量管理技术是混合动力汽车的关键技术之一。通常，能量管理技术决定了蓄电池的使用寿命以及充放电速度等技术指标，为此需要根据蓄电池的储能情况进行能量的管理。如何准确地对蓄电池的荷电状态（state of charge, SOC）进行辨识将是研究的难点和关键点。

蓄电池能量管理系统直接检测及管理电动汽车储能蓄电池运行的全过程，包括蓄电池充放电过程管理、蓄电池温度检测、蓄电池电压电流检测、蓄电池电量估计、单体蓄电池故障诊断等方面。在实际应用中，如何根据采集到的每块蓄电池的电压、温度和充放电电流的历史数据，建立每块蓄电池剩余能量的较精确的数学模型，以及电动汽车储能蓄电池的快速充电技术及均衡充电技术，将是未来研究的重点和关键技术，其蓄电池性能的好坏将直接影响混合动力汽车的实际使用。

蓄电池系统作为电动汽车的动力源，承担电动汽车全部或者部分动力输出，其性能优劣

