

# 纯电动汽车动力电池 及管理系统设计

● 主编 董艳艳 王万君

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 纯电动汽车动力电池及管理系统设计

主 编 董艳艳 王万君  
副主编 郭三华 张之超 徐加爽 曹丽娟  
参 编 唐国锋 李晓艳 王艳超

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书以目前电动汽车核心技术之一——动力电池及电源管理为主题,内容涵盖纯电动汽车各类动力电池的结构、原理和特点,动力电池管理系统的设计与应用以及纯电动汽车充电技术,并结合目前最新的纯电动汽车发展技术,有针对性地详细讲解了纯电动汽车动力电池及其管理系统的核心技术,内容深入浅出,使读者在轻松愉悦的环境下迅速了解纯电动汽车动力电池相关新技术及应用情况。

本书适用于高等院校的汽车电子技术类、新能源汽车技术类、机电类等专业的电动汽车动力电池课程的教学,也可作为汽车新技术及电动汽车维修人员的参考书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

纯电动汽车动力电池及管理系统设计/董艳艳,王万君主编. —北京:  
北京理工大学出版社, 2017. 4

ISBN 978 - 7 - 5682 - 4008 - 6

I. ①纯... II. ①董... ②王... III. ①电动汽车-蓄电池-系统设计  
IV. ①U469.702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 096450 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 10

字 数 / 236 千字

版 次 / 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 37.00 元

责任编辑 / 李秀梅

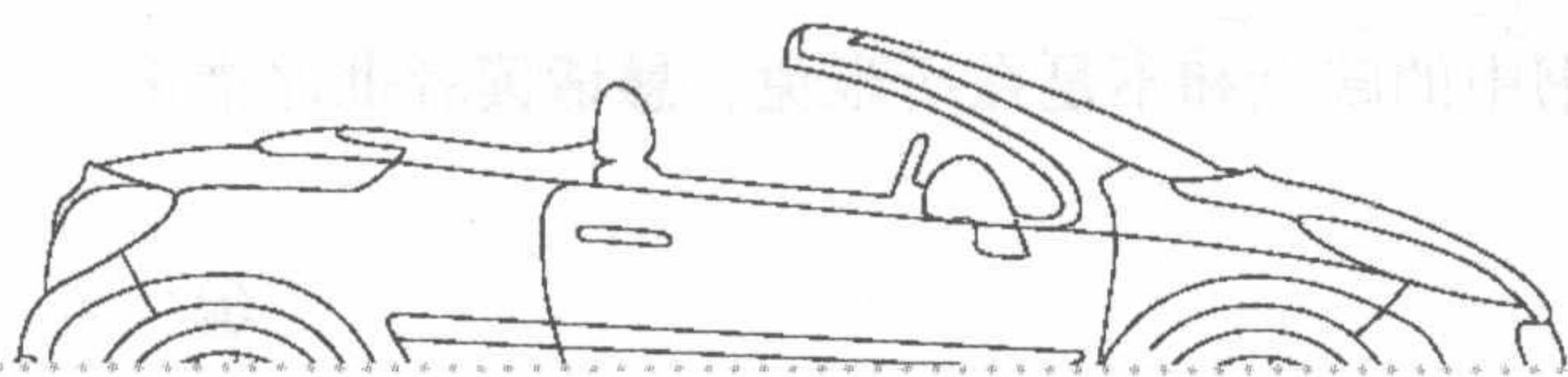
文案编辑 / 杜春英

责任校对 / 孟祥敬

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



# 前言

P R E F A C E

目前，世界各国都在大力发展新能源汽车，我国更是将其列入七大战略性新兴产业之中。节能与新能源汽车的发展是我国减少石油消耗和降低二氧化碳排放的重要举措之一，中央和地方各级政府对其发展高度关注，陆续出台了各种扶持培育政策，为新能源汽车的发展营造了良好的政策环境。近年来，我国新能源汽车产业在行业标准、产业联盟、企业布局、技术研发等方面也取得了明显进展，有望肩负起中国汽车工业“弯道超车”的历史重任。

本书以目前电动汽车核心技术之一——动力电池及电源管理为主题，内容涵盖纯电动汽车各类动力电池的结构、原理和特点，动力电池管理系统的设计与应用以及纯电动汽车充电技术，并结合目前最新的纯电动汽车发展技术，有针对性地详细讲解了纯电动汽车动力电池及其管理系统的关键技术，内容深入浅出，使读者在轻松愉悦的环境下迅速了解纯电动汽车动力电池相关新技术及应用情况。不仅满足高等院校教学需要，而且也适合对电动汽车感兴趣的人们阅读和学习。

全书共分7章，第1章介绍了电动汽车的发展历史及现状，简单阐述了纯电动汽车的基本结构，使读者能够全面了解动力电池在纯电动汽车上的作用及动力电池目前的发展状况；第2章讲解了与纯电动汽车动力电池相关的基本概念和基本参数，使读者能够直观了解动力电池的性能及选择方法；第3章详细讲授了目前纯电动汽车常用的动力电池及其特性，并结合目前纯电动汽车市场上常用的电池进行原理的讲解及性能分析；第4章在第3章的基础上详细介绍了动力电池的设计方法及应用技术；第5章和第6章对动力电池管理系统结构、功能及工作原理进行深入浅出的讲解，使读者了解动力电池系统的工作过程、原理以及制动能量回收系统；第7章介绍了电动汽车的充电技术。

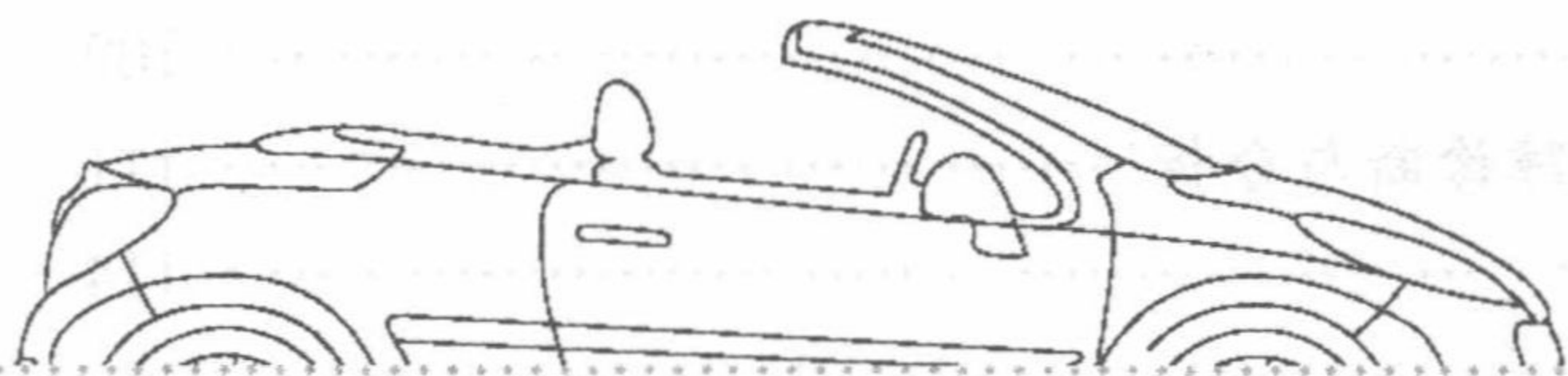
本书在编写的过程中查阅了大量书籍、文献和资料，应用了一些网上资料和参考文献中的部分内容，在此向其作者表示深切的谢意，同时对书中所用图片的拍摄者及制作者表示感谢。

本书由董艳艳和王万君任主编，负责本书的总体策划及全书的编写指导。董艳艳完成本书第1~3章内容的编写，张之超负责第4章内容的编写，王万君和郭三华负责第5~7章内

容的编写，书中的图片及数据采集部分由唐国锋和曹丽娟完成，同时李晓艳、徐加爽、王艳超等人也参与了本书的编写及校对工作，并提出了许多中肯的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫和编者水平有限，书中的缺点和不足在所难免，恳请读者批评指正。

编者



# 目 录

C O N T E N T S

<b>第 1 章 绪论</b> .....	001
<b>导读</b> .....	001
1.1 纯电动汽车的基本知识 .....	001
1.2 电动汽车及动力电池的发展历史 .....	003
1.3 电动汽车动力电池技术的发展现状及趋势 .....	010
<b>第 2 章 纯电动汽车动力电池的基本概念</b> .....	017
<b>导读</b> .....	017
2.1 动力电池的概念及分类 .....	017
2.2 动力电池的原理与结构 .....	018
2.3 动力电池的参数及性能指标 .....	021
2.4 电动汽车对动力电池的要求 .....	026
<b>第 3 章 纯电动汽车常用动力电池</b> .....	029
<b>导读</b> .....	029
3.1 铅酸蓄电池 .....	029
3.2 碱性电池 .....	039
3.3 锂离子电池 .....	048
3.4 燃料电池 .....	059
3.5 用作动力源的其他电池 .....	065
<b>第 4 章 动力电池设计应用</b> .....	073
<b>导读</b> .....	073
4.1 动力电池一致性设计 .....	073
4.2 动力电池的热管理系统设计 .....	079
4.3 动力电池的性能测试 .....	083
<b>第 5 章 动力电池管理系统</b> .....	088
<b>导读</b> .....	088
5.1 概述 .....	088
5.2 电池管理系统的基本结构及功能 .....	089
5.3 数据采集方法 .....	091
5.4 电量管理系统 .....	095
5.5 均衡管理系统 .....	096
5.6 热管理系统 .....	107

5.7	数据通信系统 .....	109
5.8	电池管理系统的故障诊断与分析 .....	111
<b>第6章</b>	<b>动力电池系统设计 .....</b>	<b>114</b>
	<b>导读 .....</b>	<b>114</b>
6.1	电动车辆能耗经济性评价参数 .....	114
6.2	电池系统与整车的匹配方法 .....	116
6.3	电池包结构与设计 .....	121
6.4	动力电池的梯次利用与回收 .....	124
<b>第7章</b>	<b>电动汽车充电技术 .....</b>	<b>126</b>
	<b>导读 .....</b>	<b>126</b>
7.1	概述 .....	126
7.2	充电桩 .....	136
7.3	充电站 .....	146
	<b>参考文献 .....</b>	<b>152</b>

# 第1章

## 绪论



### 本章学习目标

- ◆ 了解纯电动汽车及动力电池的发展现状。
- ◆ 了解纯电动汽车的结构和组成。
- ◆ 熟悉目前常用的动力电池及其特点。

### ✿ 导读

随着全球能源危机和大气污染日益严重，高速发展的汽车行业对世界环境和能源的影响越来越大。为此世界各国对发展纯电动汽车（Electric Vehile, EV）和混合动力电动汽车（Hybrid Electric Vehile, HEV）高度重视，美国2002年推出了“Freedom Car&Vehile Technology”计划；中国政府自2000年开始实施“清洁汽车行动”计划，使电动汽车行业有了巨大发展，电动汽车被列入国家“863”发展计划，因此也加快了EV和HEV的研发进程。作为车载动力的动力电池的研发成为EV和HEV发展的主要瓶颈。

### ✿ 1.1 纯电动汽车的基本知识

依照中华人民共和国工业和信息化部2009年6月17日发布的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》，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。

新能源汽车包括混合动力电动汽车、纯电动汽车（包括太阳能汽车）、燃料电池电动汽车（Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV）、氢发动机汽车、其他新能源（如高效储能器、二甲醚）汽车等类别。

#### 1.1.1 纯电动汽车的定义

纯电动汽车是指以车载电源为动力，用电机驱动车轮行驶，符合道路交通、安全法规各项要求的车辆，一般采用高效率充电蓄电池作为动力源。纯电动汽车不需要内燃机，因此，纯电动汽车的电机相当于传统汽车的发动机，蓄电池相当于原来的油箱，电能是二次能源，来源可以是风能、水能、热能、太阳能等多种方式。在汽车污染较为严重的今天，这些能源



的突出特点就是排放零污染，即 ZEV。

纯电动汽车具有两个重要特点：一是搭载可拆卸的电化学和机电能源；二是牵引力仅由电机提供。图 1-1 所示为纯电动汽车的系统框图，连接汽车能量源和车轮的部分称为动力传动系统，它是机电能源转换系统，既有电气元器件，又有机械部件。

储能装置如电池组用来存储所需能量，并实现能源传输。可用于发电以驱动车辆的能源很多，如化石燃料、太阳能等。作为整个汽车的动力来源，动力电池在整个纯电动汽车系统中起着非常重要的作用。本课程我们就重点来介绍纯电动汽车的储能装置——动力电池。

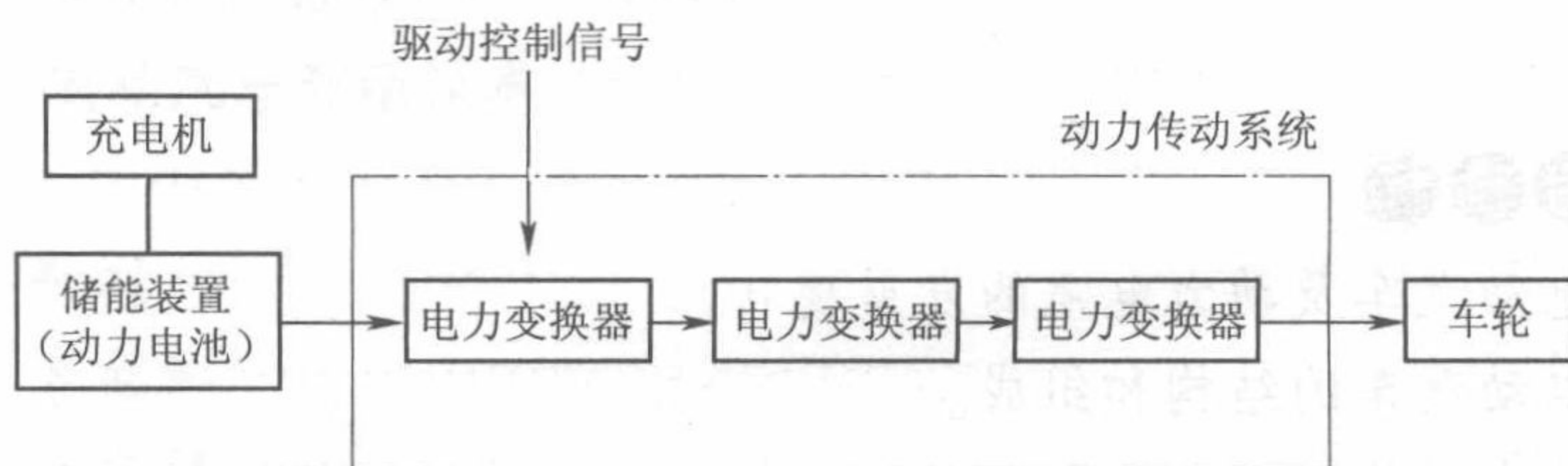


图 1-1 纯电动汽车的系统框图

### 1.1.2 纯电动汽车的基本结构

纯电动汽车的结构主要由电力驱动控制系统、汽车底盘、车身以及各种辅助装置等部分组成。除了电力驱动控制系统，其他部分的功能及结构组成基本与传统汽车相同，不过有些部件根据所选的驱动方式不同，已被简化或省去了。因此，电力驱动控制系统既决定了整个纯电动汽车的结构组成及其性能特征，也是纯电动汽车的核心，它相当于传统汽车中的发动机与其他功能以机电一体化方式相结合，这也是与传统内燃机汽车最大的不同点。电力驱动控制系统的组成与工作原理如图 1-2 所示，它由电力驱动模块、车载电源模块和辅助模块三大部分组成。这里我们重点介绍一下车载电源模块。

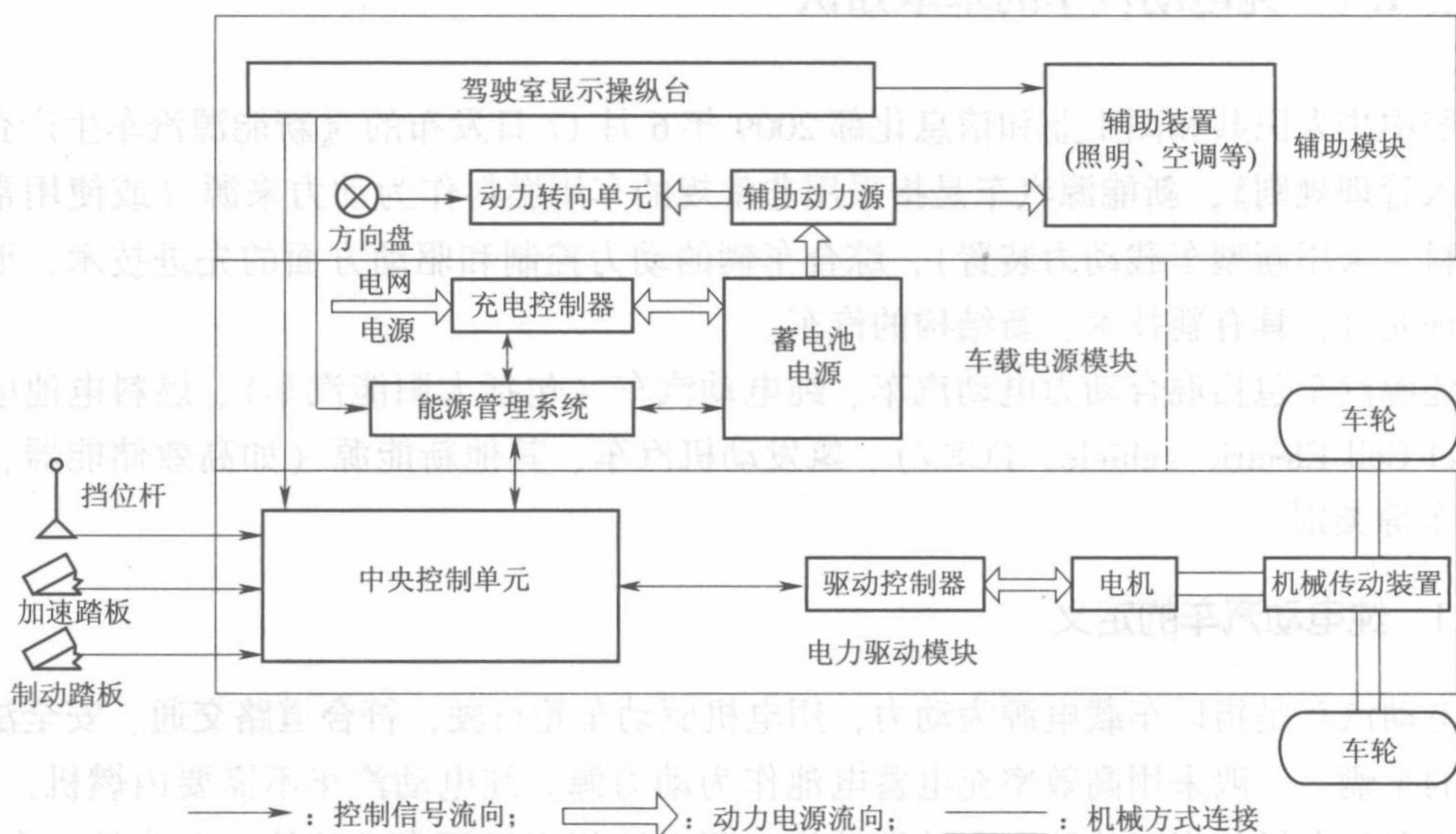


图 1-2 电力驱动控制系统的组成与工作原理

习惯了传统汽车的发动机、底盘、车身和电气四大组成部分的人可能在想，电动汽车的动力电池安装在哪里呢？那我们就先来认识一下电动汽车的动力电池。如图 1-3 所示，这是北京汽车公司生产的 EV200 纯电动汽车的动力电池，它由多个电池包组成一个整体，位于传统汽车的底盘位置。图 1-4 所示为目前大多数电动汽车动力电池的安装位置。

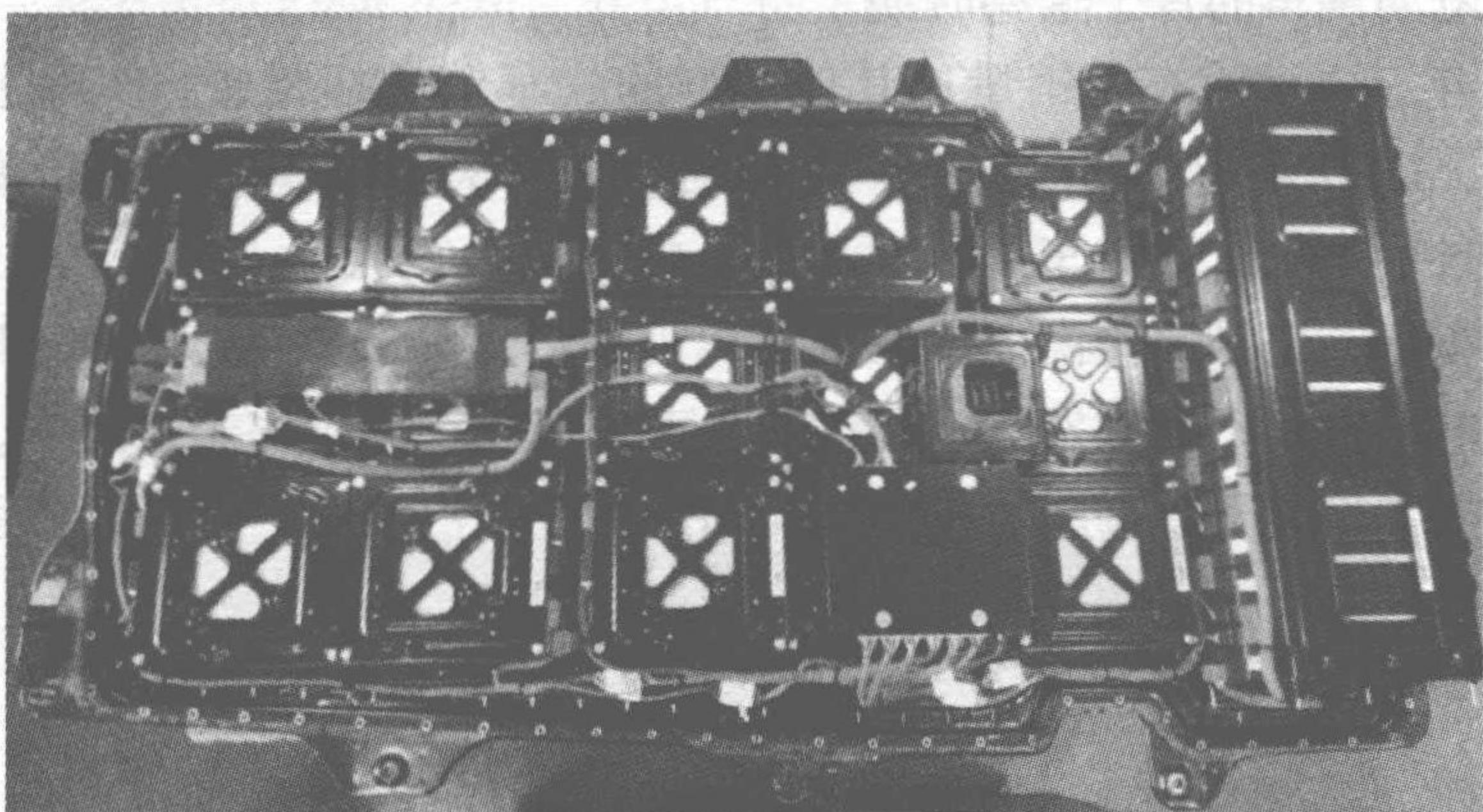


图 1-3 北汽 EV200 纯电动汽车动力电池



图 1-4 动力电池安装位置

## 1.2 电动汽车及动力电池的发展历史

### 1.2.1 电动汽车的发展历史

电动汽车市场竞争越来越激烈，除了特斯拉外，传统汽车生产商也在大力投资电动汽车市场，其中包括通用、大众等。不过，电动汽车并非什么新鲜事物，它已经存在 100 多年的时间，并且一度还是最流行的汽车类型。下面，我们将带领大家一起回顾电动汽车的百年发展史。

第一阶段，电动汽车的诞生阶段。

电动汽车是世界上最古老的汽车之一，比内燃机汽车的出现早了半个多世纪。1832—1839年，苏格兰商人罗伯特·安德森用不可再充的蓄电池研发出电动汽车。

1835年，荷兰教授西博兰斯·斯特町（Si brandus Stratingh）设计了一款小型电动车——应用法拉第电磁感应原理组装的一台电动三轮车。

第二阶段，电动汽车的首个全盛时期。

1899—1900年，电动汽车的销量比其他类型的汽车销量都要好。实际上，根据全美人口调查局的调查，1900年，电动汽车生产量占到美国汽车总产量28%的份额，所出售的电动汽车总价值超过了当年汽油汽车和蒸汽汽车的总和。

早期电动汽车基本上是一些由电池驱动的马车，如图1-5所示。与蒸汽汽车或者汽油汽车不同，电动汽车不会散发味道，没有噪声和振动，且操作非常简单。燃油汽车必须人工控制起动，需要驾驶员在驾车过程中变换挡位等。蒸汽汽车尽管不需要手动换挡，但是它们的起动得花些时间，并且续驶里程没有电动汽车长。

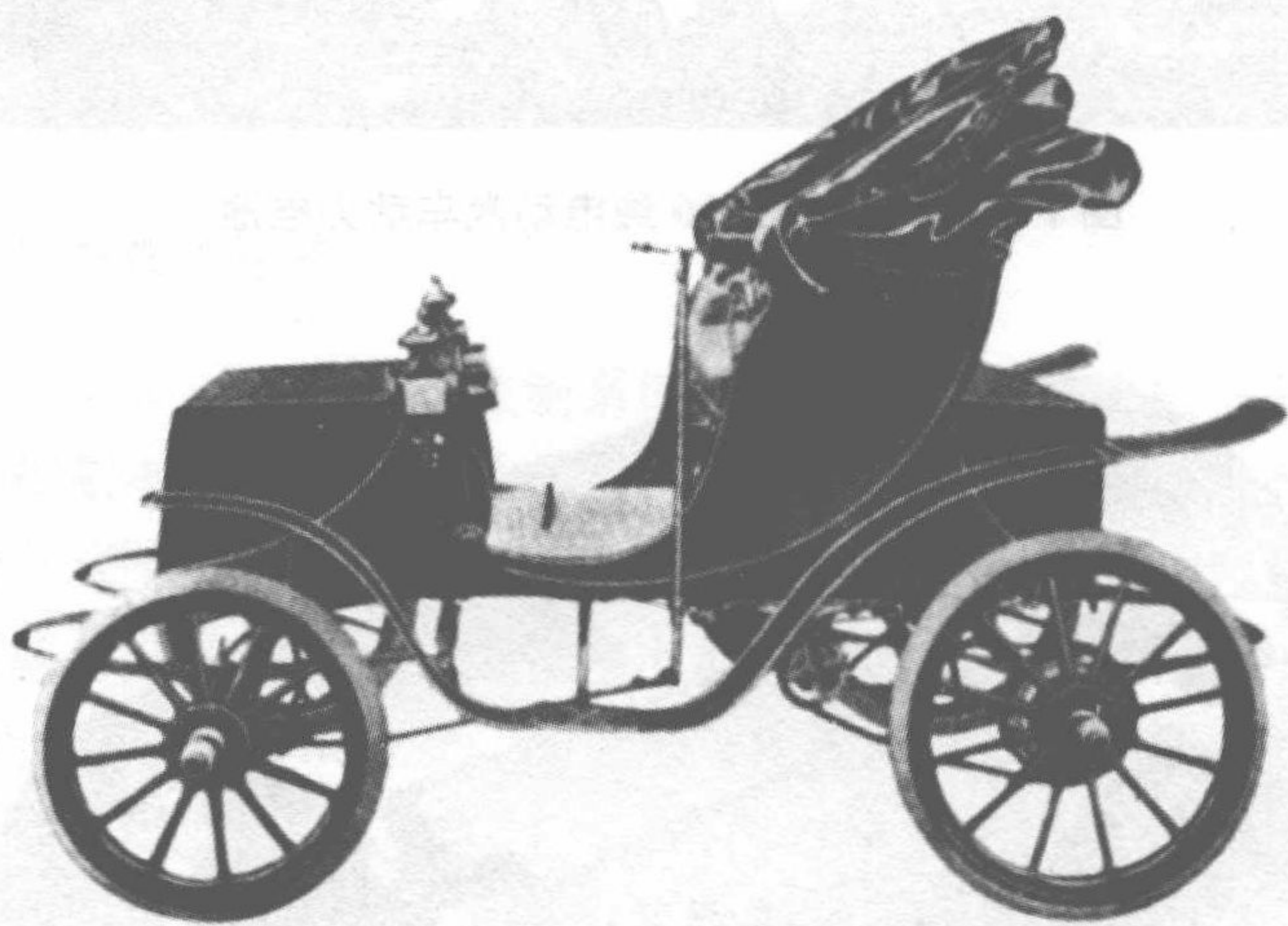


图1-5 早期的电动汽车

第三阶段，到1935年，电动汽车风光不再。

从19世纪末到20世纪初，这是电动汽车的黄金时期，电动汽车生产在1912年达到顶峰。当时，福特生产的燃油汽车价格要比电动汽车价格便宜很多。例如，1912年，一款电动敞篷车的售价高达1750美元，而一款燃油汽车的售价仅为650美元。不过，电动汽车的黄金时代并没有持续太久，20世纪20年代后，内燃机技术达到一个新水平，装备内燃机的汽车速度更快，加一次油可持续续航里程是电动汽车的3倍左右，且使用成本低。相比之下，电动汽车的发展进入瓶颈时期，在降低制造成本和改善使用便利性方面没有明显的进步……这种背景下，电动汽车很快失去了存在的意义，在1935年左右电动汽车基本上就从欧美汽车市场中消失了。

第四阶段，20世纪六七十年代电动汽车市场复苏。

20世纪70年代石油危机爆发，给世界各国政界一次不小的打击，因此世界各国开始考虑替代石油的其他能源，人们开始重新重视电动汽车的技术开发。1970年，美国颁布了《清洁空气法案》，再加上1973年爆发的第一次石油危机，激发了人们开发燃油汽车替代品的兴趣。到1976年，美国国会采取措施，通过了纯电动汽车和混合动力电动汽车研究开发

和示范法案，该法案由美国能源部授权，用于支持和开发纯电动汽车和混合动力电动汽车。

20 世纪 70 年代的电动汽车生产市场上，两家公司成为领导者，其中排名第一的是 Sebring - Vanguard，它生产了超过 2 000 辆 CitiCars 电动汽车，这也是美国销量最高的电动汽车，直到 2011 年被特斯拉 Model S 超越。CitiCars 最高速度达到 44 英里<sup>①</sup>/时，续航里程为 50 ~ 60 英里。另一家公司是 Elcar 公司，其生产的 Elcar 电动汽车最高速度达到 45 英里/时，续航里程为 60 英里，价格在 4 000 ~ 4 500 美元。

第五阶段，电动汽车并非美国独有，而是呈现百花齐放的状态。

宝马在 1972 年夏季奥林匹克运动会上展示了其首款电动汽车——宝马 1602E（见图 1-6），这款电动汽车由 12 个铅酸蓄电池组驱动，拥有 42 马力<sup>②</sup>电动机，最高速度能够达到 62 英里/时。不过，这款汽车并没有进入量产。



图 1-6 宝马 1602E 电动汽车

在 20 世纪 70 年代，越来越多的电动汽车出现了，但是大多销量一般，主要受限于时速、续航里程和外形设计。进入 20 世纪 80 年代后，电动汽车受欢迎度逐渐减弱。

第六阶段，20 世纪 90 年代，废气排放量监管促使汽车生产商将目标投向电动汽车，电动汽车的发展进入鼎盛时期。

美国 1990 年颁布的《清洁空气法修正案》和 1992 年颁布的《能源政策法案》促使市场对电动汽车再次进行投资。美国加州空气资源委员会甚至还通过一项新的法规，要求汽车生产商需生产和销售零废气排放的汽车，这样才允许他们在该州出售其他车辆。从此各大汽车厂商纷纷投入对电动汽车的研发和生产，自此各种车型的电动汽车如雨后春笋般不断上市，并呈现出欣欣向荣的景象。

从 1996 年开始，通用汽车公司共生产了 1 117 辆 EV1 电动汽车（见图 1-7），不过这款汽车仅在美国几个州使用，并且不能卖，只能租。据悉这款电动汽车续航里程能够达到 100 英里，从 0 加速到 60 英里/时只需要 7 s。由于 EV1 并不盈利，通用在租赁期到后，全部召回了这些电动汽车，并销毁了其中的大部分，只留下 40 辆捐赠给博物馆或者其他组织。

日本丰田公司也在 1997 年生产了第一批丰田 Prius 电动汽车，如图 1-8 所示。Prius 2000 年开始进入全球市场，它也是第一批规模化生产的混合动力电动汽车。在全球推

① 1 英里 = 1.609 344 千米。

② 1 马力 = 735.499 瓦。

出一年时间里，这款电动汽车共卖出 5 万辆，到 2016 年 7 月，这家公司已经卖出超过 800 万辆混合动力电动汽车，其中超过 500 万辆为 Prius。



图 1-7 通用 EV1 电动汽车

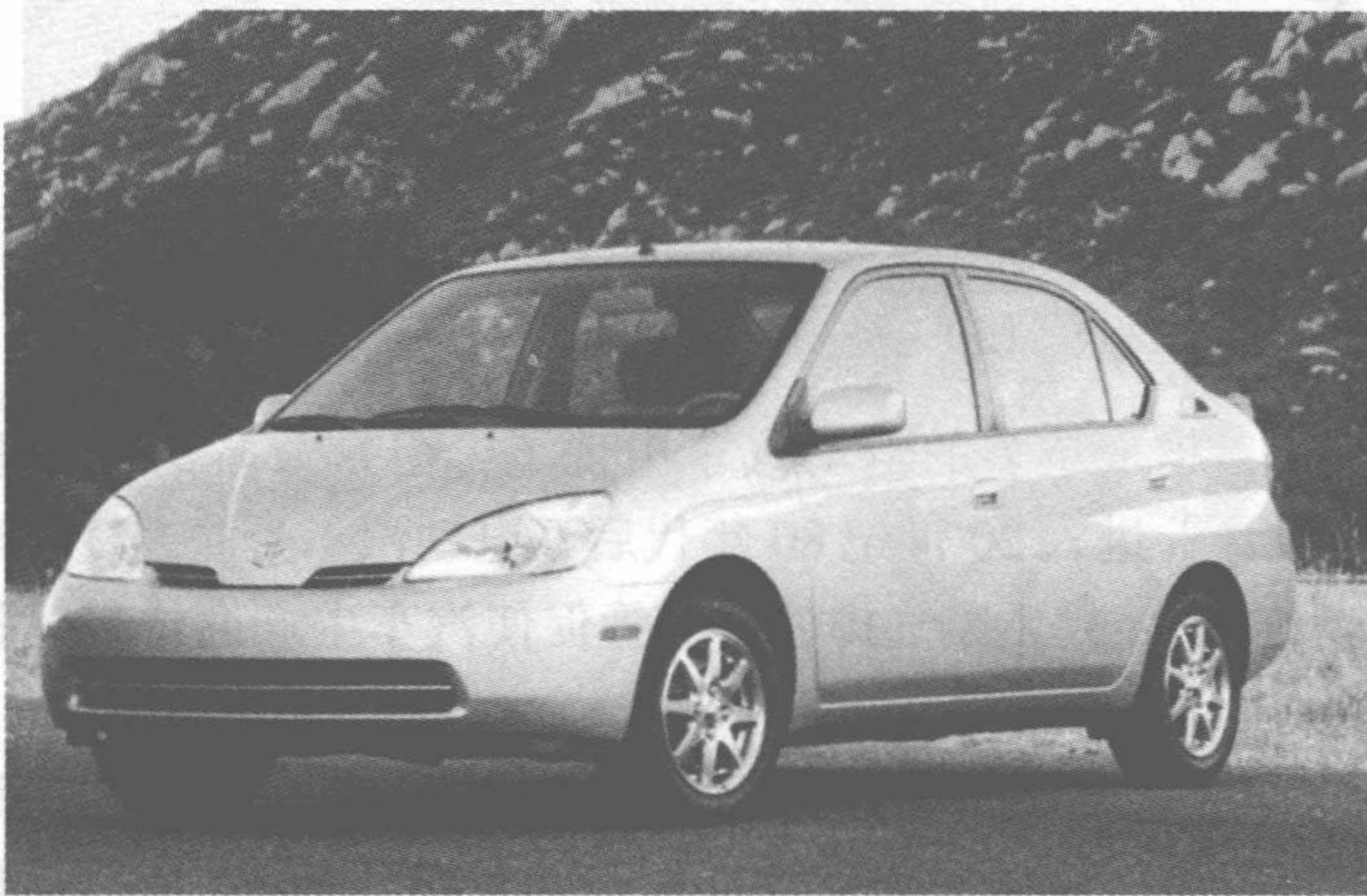


图 1-8 丰田 Prius 电动汽车

2006 年，特斯拉宣布计划推出续航里程达到 200 英里的电动汽车，这条消息轰动整个电动汽车市场。到 2011 年，特斯拉拥有了其第一款电动汽车 Roadster，如图 1-9 所示，其续航里程超过 240 英里，售价超过 10 万美元。尽管特斯拉已经拥有 Model S 轿车和 Model X SUV，但在很大程度上讲，它们还属于小众化产品。特斯拉计划在 2017 年规模化生产其面向大众市场的电动汽车 Model 3，这款汽车续航里程超过 200 英里，售价在 3.5 万美元左右。

2010 年，尼桑在美国开始交付其电动汽车 Leaf，如图 1-10 所示。尼桑 Leaf 续航里程为 100 英里，价格在 3 万美元左右，这款电动汽车目前仍然是全球销量最好的电动汽车。截至 2016 年 12 月，尼桑共卖出 20 多万辆 Leaf，单在美国就卖出 8.8 万辆。

随着电动汽车的飞速发展和市场保有量的不断增加，传统汽车生产厂商也开始研发电动汽车的新技术，在未来几年内，我们将陆续看到来自各大品牌汽车生产商的电动汽车。



图 1-9 特斯拉 Roadster 电动汽车

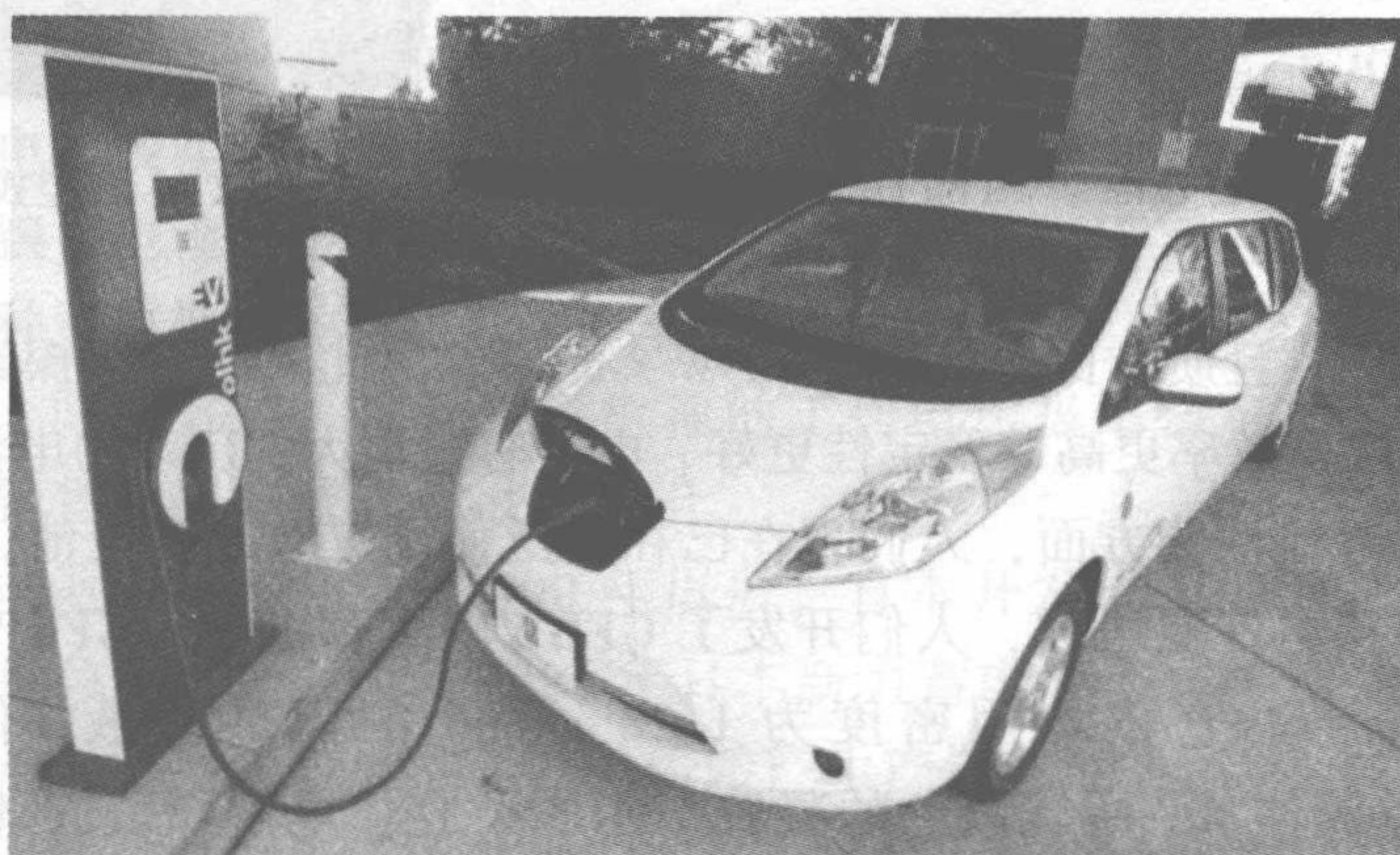


图 1-10 尼桑 Leaf 电动汽车

如今，混合动力电动汽车以及纯电动汽车又开始流行起来，而几乎所有的汽车厂商也都看准了这一市场。的确，由于环境恶化、油价上涨及能源消耗等诸多问题的出现，人们都或多或少开始关注这些新能源汽车。也许在不久的将来，电动汽车又能回到 1900 年那样一个“全盛时期”，并且是达到一个新高度的全盛时期。

### 1.2.2 动力电池的发展历史

#### 1. 动力电池的使用特点

- (1) 高能量（EV 用电池）和高功率（HEV 用电池）。
- (2) 高能量密度。美国先进电池联合会（USABC）制定的电动车电池中长期目标，质量比能量要达到  $80 \sim 100 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ （中期）和  $200 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ （长期）。具体的性能指标我们在后面会详细讲解。
- (3) 高倍率部分荷电状态下（HRPSOC）的循环使用（HEV 用电池）。
- (4) 工作温度范围宽（ $-30 \sim 65 \text{ }^\circ\text{C}$ ）。
- (5) 使用寿命长，要求 5~10 年。
- (6) 安全可靠。

## 2. 动力电池的发展史

目前世界上各汽车生产厂家纷纷开发并推广使用电动汽车，电动汽车有着广阔的发展前景。电动汽车的蓬勃发展，促进了动力电池技术的发展，世界各大汽车公司纷纷投巨资并采取结盟的方式研究各种类型的电动车用动力电池。以下就电动车用动力电池及燃料动力电池的技术发展动态作一概述。根据动力电池的使用特点、要求和应用领域不同，国内外动力电池的研发大致经历了以下几个发展阶段。

第一代动力电池——铅酸蓄电池。图 1-11 所示为主要的阀控式铅酸蓄电池（VRLAB）。它最大的优点是大电流放电性能良好，价格低廉，资源丰富，电池的回收率较高，在电动自行车、电动摩托车上应用广泛；缺点是质量比能量低，主要原材料铅有污染。

铅酸蓄电池的应用历史最长，它也是最成熟、成本和售价最低廉的动力电池。当前存在的主要问题是一次充电的行程短，一般在 30 ~ 40 km；就是

快速充电也要 4 ~ 6 h，且质量比能量只有  $30 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ 。为此人们一直探索改进铅酸蓄电池性能的方法，开发能量效率更高、稳定性更好、电荷容量更大的新动力电池。

在改进铅酸蓄电池性能方面，人们现在已在广泛使用 VRLA 蓄电池，它具有使用方便的优点。为使铅酸蓄电池更可靠，人们开发了 GFL VRLA 蓄电池。GFL VRLA 蓄电池也属于 VRLA 蓄电池范畴。它依然用密度为  $1.28 \text{ g}/\text{cm}^3$  的硫酸溶液，但在其中添加了  $\text{Na}_2\text{SiO}_2$ ，电解液呈胶体状——乳白色的凝胶，构成了胶体电解质。胶体的状况会随着温度和电场的作用而变化。当 GFL VRLA 蓄电池放电时，胶体的凝聚性会更明显；温度降低，胶体内部溶液扩散迁移及传导性变差，内电阻增加。在温度升到  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  以上，外施单格电压超过  $2.6 \text{ V}$  时，要产生充电气泡；充电时间过长，温度过高，特别是单格电压超过  $2.7 \text{ V}$ ，胶体常常会发生水解，放出大量  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$ ，并伴有硫酸和水外溢，胶体变成了液态。如及时停止充电，降低温度，去掉外电压，胶体还可恢复。GFL VRLA 蓄电池的性能、价格与普通铅酸蓄电池相似，只是由于其胶体电解质具有不易渗漏性，故能保证电源使用的可靠性。即使 GFL VRLA 蓄电池壳体产生了裂纹也可继续使用，不会对车辆产生腐蚀作用。因此其适用于道路状况差（如乡间土路）和用电负荷变化大的车辆，如在我国中西部地区的山区、半山区、乡村使用的车辆的蓄电池，军用车辆的起动用蓄电池，以及由于环保要求，限制酸腐蚀的特种车辆等用的蓄电池。由于电解质中有  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  存在，在极板硫化过程中，会同时产生硫酸铅、硫酸钠结晶，从而防止极板生成粗大的硫酸铅结晶体，使极板不易硫化，容易再次充电活化，不易丧失极板的多孔性，还能防止正极板上生出尖锐的硫酸铅突起，避免隔板被刺穿形成极板间短路。从寿命上讲，GFL VRLA 蓄电池是现在普通铅酸蓄电池的 4 倍以上，在  $50 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$  仍能很好工作，且工作性能相当稳定，相比普通铅酸蓄电池，性能有了大幅度提高。估计 GFL VRLA 蓄电池会比普通铅酸蓄电池多存在一段时间，但 GFL VRLA 蓄电池毕竟是铅酸蓄电池，随着人们对环保要求的深入，含铅的重金属产品将会随着世界禁铅运动的深入而逐渐被淘汰。尽管 GFL



图 1-11 阀控式铅酸蓄电池

VRLA 蓄电池有许多优点，但终归要退出历史舞台。

第二代动力电池——碱性电池，如镍镉（Cd-Ni）电池、镍氢（MH-Ni）电池。镍镉电池由于镉的污染性，欧盟各国已禁止用于动力电池，而镍锌电池的价格明显高于铅酸蓄电池，目前是 HEV 的主要动力电池。日本松下能源公司已为 HEV 提供 1 000 万只以上的镍锌电池，应用于电动自行车，但是由于价格问题，这种电池在市场上缺乏竞争力。

镍氢电池是目前人们普遍看好的第二代蓄电池之一，是一种取代镍镉电池的产品，当然也是取代铅酸蓄电池的产品。镍氢电池的生产过程中，存在着烧结体技术和发泡体技术两种技术。一般的生产厂家都经历了一个从发泡体技术向烧结体技术发展的过程。采用烧结体技术对镍氢电池正极进行处理，蓄电池的内阻会大幅度减少，具有放电电压稳定和能进行大电流放电的特性。烧结体镍氢电池还具有蓄电池不易老化，不需要预充电，以及低温放电特性比较好等优点。经烧结处理的正极，其镍化合物粒子会转换成活性的镍化合物，能确保蓄电池有平衡的输出电压，且具有长时间的性能稳定性、长寿命和蓄电池不老化。以发泡镍技术生产的蓄电池在放置一段时间后，要有 20% 左右的电荷量流失，将这样的蓄电池装车后会发现与装新蓄电池的差距很大，也说明其老化现象十分明显。为避免发泡镍蓄电池的老化所造成的内阻增高，发泡镍蓄电池在出厂时必须进行预充电，且使用此种蓄电池的放电电压不能低于 0.9 V（单元体蓄电池），给用户的使用带来了极大的不便。除此之外，发泡镍蓄电池的工作电压极不稳定，不能进行长时间存放和流通，这也给销售和用户造成了很大负担。

第三代动力电池——锂电池。1990 年以后，日本开发成功的镍氢电池得到了人们的高度重视，应用量急速增加。但自 1994 年日本新力蓄电池公司推出锂离子电池后，人们又开始认同锂电池，一些镍氢电池企业纷纷转产生锂电池。图 1-12 所示为锂电池的一种——锂离子电池。一时间人们所热崇的镍氢电池似有被冷落的意思。锂电池可分为锂离子电池和锂分子（高聚合物）电池两种。锂电池具有体积小、质量能和质量功率高、电压高、安全性（固态）高、无污染、环保性好等优点。锂电池的能量密度（体积能和质量能）是镍镉电池的 1.5~3.0 倍，也就是说，在同样大小能量的情况下，锂电池的体积和质量可减小 1/2 左右。单元蓄电池的平均电压为 3.6 V，相当于 3 个镍镉或镍氢电池串接起来的电压值。能减少蓄电池组合体的数量，从而因单元蓄电池电压差所造成的蓄电池故障的概率可减少许多，也就是说大大延长了蓄电池组合体的寿命。相对于镍镉电池和镍氢电池，锂电池充电时不用先进行放电（因锂电池无记忆性），给使用者带来了极大的便利，同时也节省了电能。锂电池的自放电率仅为 5%~10%，具备自放电低的优点，在非使用状态下储存，内部几乎不发生化学反应，相当稳定。由于锂电池不含有镉、汞和铅等重金属，因此它是一种绿色的环保蓄电池，在未来一段时间内将是较具竞争力的动力电池。

总之，锂电池日益完善，在电动车上大有取代铅酸蓄电池、镍镉电池、镍氢电池之势，它将随着电动车的普及发展而成长壮大，并将与燃料电池一并成为 21 世纪电动车的主要蓄电池。

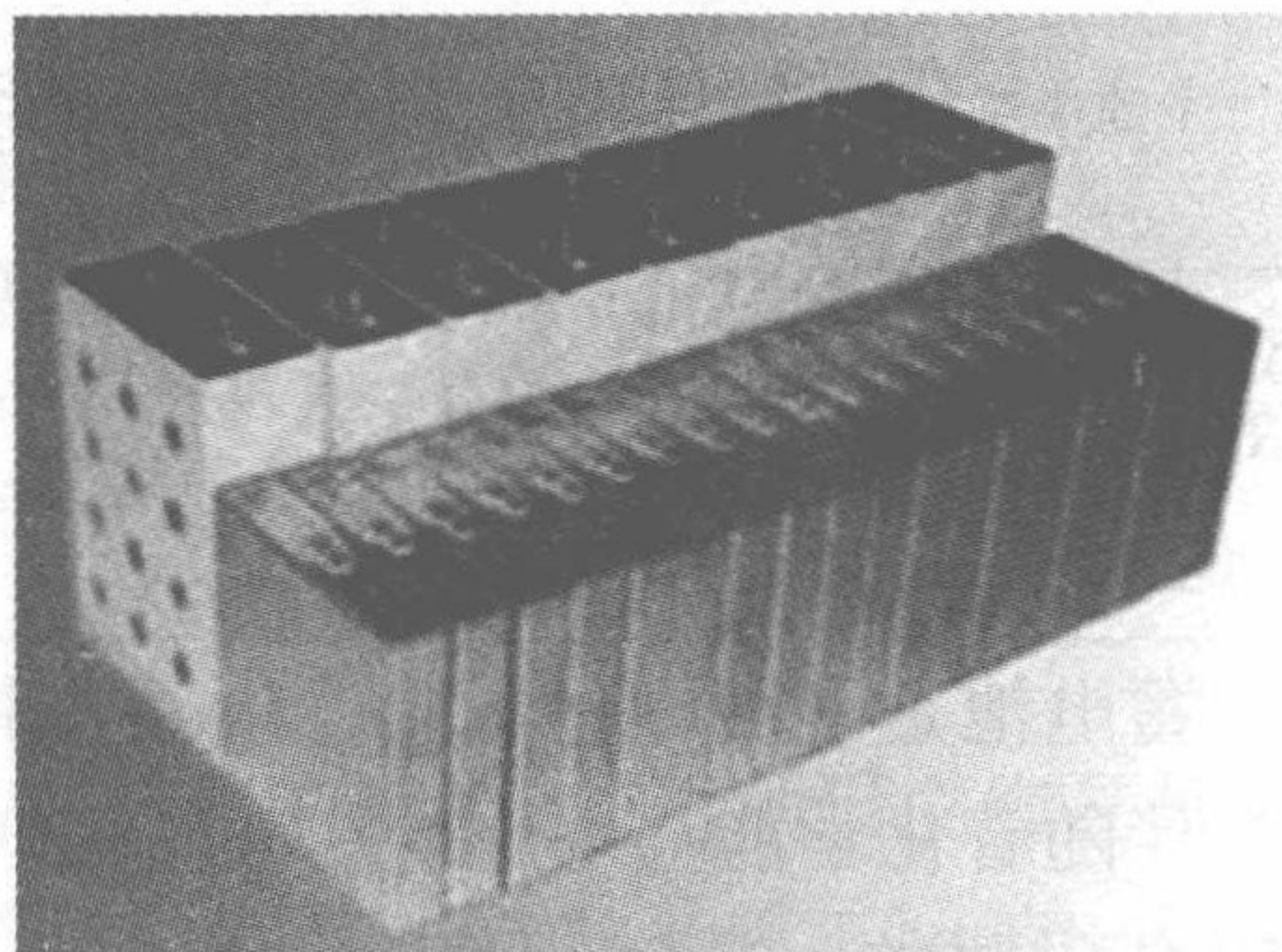


图 1-12 锂离子电池



第四代动力电池——燃料电池。燃料电池是人们努力开发的一种蓄电池，目前各公司都致力于开发甲醇改质氢燃料电池、汽油改质氢和纯氢燃料电池，并将其装车进行试验。燃料电池的典型代表有质子交换膜燃料电池（PEMFC，见图1-13）、直接甲醛燃料电池（DMFC）和锌空气蓄电池（亦称锌氧蓄电池），其特点是无污染，放电产物为 $H_2O$ ，是真正的电化学反应装置。目前以此类燃料生产的燃料电池的能量转换效率还比较低，但其工作原理有了很大发展，已从燃料电池只能由氢和氧结合生成电和水，发展到了利用甲烷等气体与氧化合生成电和水。此类燃料电池经改进后，还可直接使用汽油和柴油。因此，此类燃料电池的发展极具实际使用意义。这种工作原理的燃料电池开发成功，并经不断完善后，极有可能成为燃料电池的主流，进而取代生产成本和使用成本都很高的氢燃料电池。

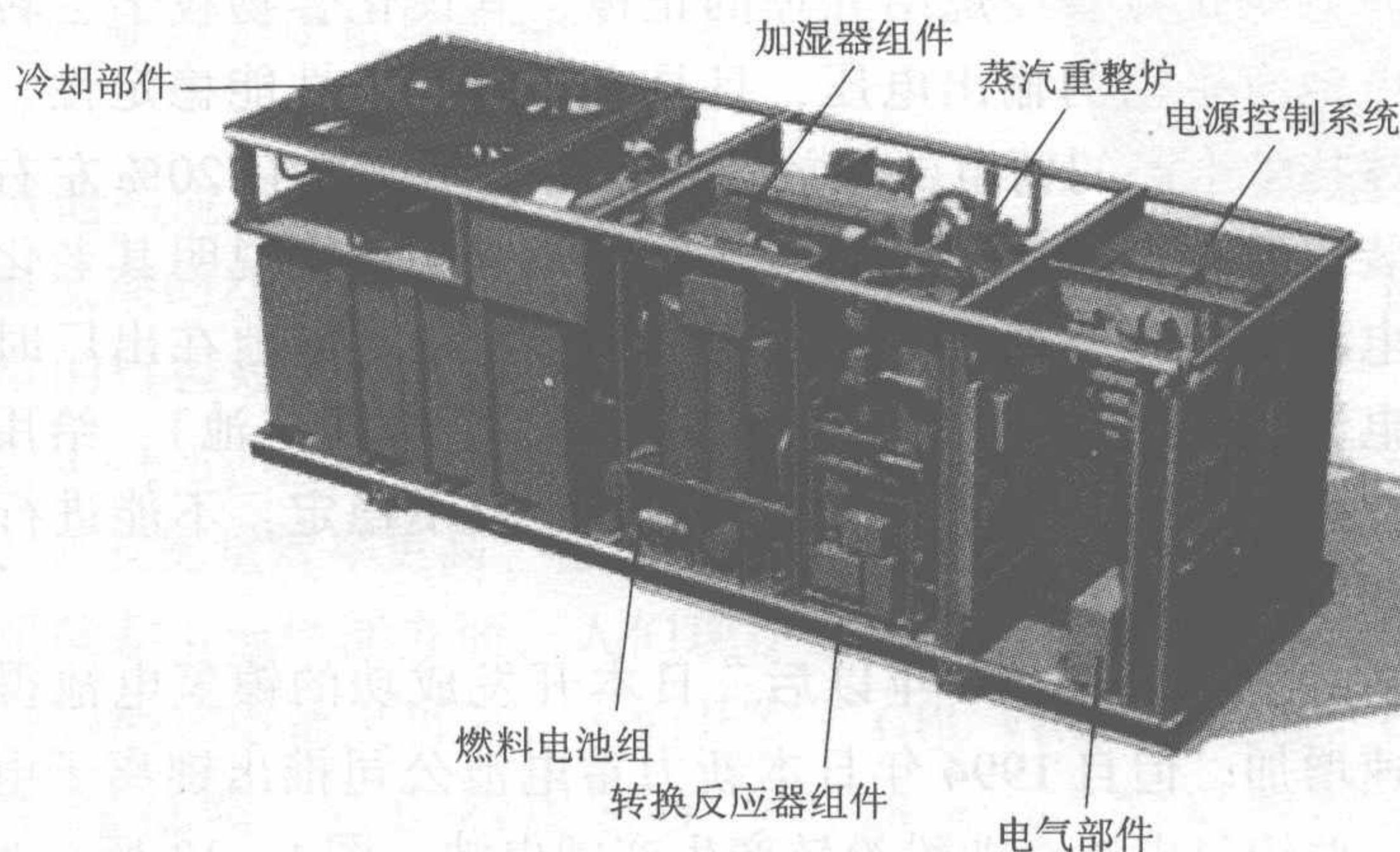


图 1-13 典型的质子交换膜燃料电池

燃料电池是车载动力最经济、最环保的解决方案，但是实现商业化还有许多问题需要解决，如价格昂贵，采用贵金属铂、铑作为催化剂，氢的存储、运输以及电池寿命问题。为了解决以燃油为动力的汽车排放对环境的污染，以电池为动力的纯电动汽车和油电混合电动汽车成为世界各国研发的热点，其中动力电池的研发更是其成败的关键。

## 1.3 电动汽车动力电池技术的发展现状及趋势

### 1.3.1 目前常用的电池类型及应用车型

目前市场上电池的种类有很多，现在运用较成熟的有铅酸蓄电池、镍氢电池、锂离子电池、燃料电池、太阳能电池等。

#### 1. 铅酸蓄电池

蓄电池是一种电化学反应体系，其能量储存和释放是通过两个电极的电化学反应实现的，伴随着化学能与电能的相互转换。铅酸蓄电池是由法国物理学家 French Aston Plante 于 1859 年发明的，是第一种商业化应用的可充电电池。现在，铅酸蓄电池被广泛用于汽车、机车、通信后备电源和不间断电源（UPS）系统等。