

- 纯电动汽车 (BEV)
- 插电混动汽车 (PHEV)
- 油电混动汽车 (HEV)
- 燃料电池电动汽车 (FCEV)

新能源汽车 结构与原理

电池

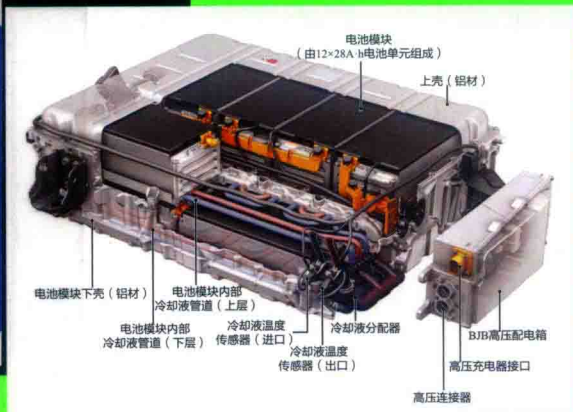
电机

电控

瑞佩尔 主编

全彩
图解

XINNENGYUAN QICHE
JIEGOU YU YUANLI



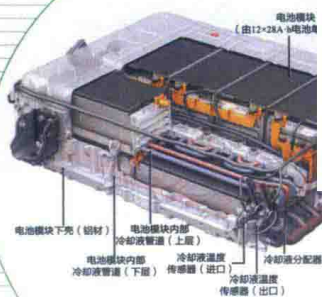
化学工业出版社

新能源汽车 结构与原理

瑞佩尔 主编

全彩
图解

XINNENGYUAN QICHE
JIEGOU YU YUANLI



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

新能源汽车结构与原理 / 瑞佩尔主编. —北京:
化学工业出版社, 2018.8

ISBN 978-7-122-32451-1

I. ①新… II. ①瑞… III. ①新能源-汽车
IV. ①U469.7

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第135221号

责任编辑: 周 红
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装: 天津图文方嘉印刷有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张16 字数310千字 2019年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00元

版权所有 违者必究



Preface 前言

发展新能源汽车是国家战略。2012年国务院出台《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》，提出了新能源汽车行业具体的产业化目标：到2020年，纯电动汽车和插电式混合动力汽车生产能力达200万辆、累计产销量超过500万辆。在国家及地方政府配套政策的支持下，我国新能源汽车实现了产业化和规模化的飞跃式发展。

我国已经连续三年位居全球新能源汽车产销第一大国。2017年，全球新能源汽车总销量超过了142万辆，累计销售突破了340万辆。截至2017年年底，我国新能源汽车累计销量达到180万辆，在全球累计销量中超过50%。无论是销量、增速还是全球市场份额，我国均为世界第一。

汽车产业“新四化”，即电动化、网联化、智能化、共享化，已成为汽车行业公认的未来趋势，不具备“四化”特征的车型便很有可能被淘汰。由于更适合演变为高级智能移动终端，新能源汽车将迎来高速发展。全球范围内，预计2022年新能源汽车销量将达600万辆；2030年，全球新能源汽车年销量有望达到1.03亿辆。

可以说汽车的“新能源时代”已经全面来临，不论是汽车制造产业，还是服务行业，抑或是每一个汽车消费者，都不得不面对它，迎接它的到来。如此，对于新能源汽车的构造及其原理的基本了解就成了我们必须面对的课题了。

本书结合汽车企业如宝马、奔驰、大众、奥迪及我国比亚迪、北汽新

新能源汽车
结构与原理



能源、上汽荣威等品牌在新能源汽车上的技术成果，以全彩图解的形式，生动形象地诠释了新能源汽车各种形式，以及运行原理，且以“电池、电动机、电控”为独立章节重点介绍了电动汽车核心技术部件的结构及原理。

本书由瑞佩尔主编，参加编写的人员还有彭启凤、黄中立、彭斌、刘振容、彭益均、胡荣添、彭启红、张鹏、张昌华、陈金美、满进波、彭达吾、刘振华、刘正宜、向旦、胡前明、胡雪飞、肖冬明、朱胜强、张建平、朱雄丰、曾永贵、刘艳、万成华、钟金秀、黄贵福、刘笃清、李丽娟、徐银泉。在编写过程中，参考了大量国内外相关文献和网络信息资料，在此，谨向这些资料信息的原创者们表示由衷的感谢！

囿于我们水平，及成书之匆促，书中疏漏之处在所难免，还请广大读者朋友及业内专家多多指正。

编者

New energy vehicle



目录

CONTENTS

01

模块1

新能源汽车概论

项目1 新能源汽车发展史 / 001

- 1.1.1 新能源汽车的演变 / 001
- 1.1.2 新能源汽车的兴起 / 006
- 1.1.3 新能源汽车的优势 / 006

项目2 新能源汽车的类别 / 007

- 1.2.1 新能源与电动汽车的定义 / 007
- 1.2.2 纯电动汽车 (BEV) / 008
- 1.2.3 混合动力汽车 (HEV) / 009
- 1.2.4 燃料电池汽车 (FCV) / 010

02

模块2

混合动力汽车初探

项目1 混合动力汽车的分类 / 012

- 2.1.1 混合动力技术定义 / 012
- 2.1.2 根据混动程度分类 / 013
- 2.1.3 根据混动模式分类 / 015

项目2 油电混动车型运行原理 / 017

- 2.2.1 串联式混合动力系统结构原理 / 017
- 2.2.2 并联式混合动力系统结构原理 / 022
- 2.2.3 混联式混合动力系统结构原理 / 031
- 2.2.4 车桥独立式混合动力系统 / 040

项目3 油气混车型原理 / 043

- 2.3.1 CNG 双燃料车型定义 / 043
- 2.3.2 CNG 车型系统结构 / 044
- 2.3.3 CNG 车型工作原理 / 044

03

模块3

纯电动汽车结构原理

项目1 纯电动汽车基本结构 / 046

- 3.1.1 通用型纯电动汽车基本结构 / 046
- 3.1.2 常见电动汽车高压部件 / 047

项目2 纯电动汽车基本原理 / 051

- 3.2.1 纯电动汽车系统组成 / 051
- 3.2.2 纯电动汽车运行原理 / 052

04

模块4

电池与电源管理系统

项目1 电池构造与原理 / 055

- 4.1.1 电池的特性与分类 / 055
- 4.1.2 锂离子电池 / 058
- 4.1.3 镍氢电池 / 075
- 4.1.4 燃料电池 / 080

项目2 电池冷却系统 / 082

- 4.2.1 宝马i3电池冷却 / 082
- 4.2.2 奥迪A3 e-tron 电池冷却 / 086
- 4.2.3 奔驰S500 PHEV 电池冷却 / 089
- 4.2.4 丰田-雷克萨斯HEV 电池冷却 / 090

项目3 电池充电系统 / 092

- 4.3.1 众泰E30EV 充电系统 / 092
- 4.3.2 江淮IEV6/7 充电系统 / 094

项目4 电池管理系统 / 097

- 4.4.1 比亚迪E6 电池管理系统 / 097
- 4.4.2 众泰E30EV 电池管理系统 / 101

项目5 电源转换系统 / 103

- 4.5.1 宝马电源转换器 / 104
- 4.5.2 众泰电源转换器 / 107

项目6 高压分配系统 / 109

- 4.6.1 宝马i3 高压分配系统 / 109
- 4.6.2 比亚迪唐高压配电箱 / 111
- 4.6.3 奥迪Q5 高压分配系统 / 113

项目7 能量回收系统 / 114

- 4.7.1 宝马X1 混动制动能量回收 / 114
- 4.7.2 本田雅阁-锐混动能量再生 / 118

项目8 高压安全 / 124

- 4.8.1 比亚迪高压安全防护 / 124
- 4.8.2 奔驰C300 PHEV 高压防护 / 125

05

模块5

电动机与动力控制系统

项目1 电动机构造分解 / 127

- 5.1.1 电动机基本构造与原理 / 127
- 5.1.2 比亚迪秦/唐电动机 / 128
- 5.1.3 宝马i3/i8电动机 / 131
- 5.1.4 宝马F49电动机 / 137
- 5.1.5 宝马F18电动机 / 140
- 5.1.6 奥迪e-tron车系电动机 / 146
- 5.1.7 奥迪Q5混合动力电动机 / 149
- 5.1.8 大众途锐HEV电动机 / 150
- 5.1.9 奔驰S500 PHEV电动机 / 151
- 5.1.10 路虎揽胜HEV电动机 / 152

项目2 电动机控制系统 / 155

- 5.2.1 众泰云100S动力系统 / 155
- 5.2.2 宝马i3电动机控制系统 / 157
- 5.2.3 宝马F49电动机控制器 / 160
- 5.2.4 宝马F18电动机控制系统 / 164
- 5.2.5 奔驰S500 PHEV功率电子装置 / 171
- 5.2.6 传祺GA3S电动机控制 / 171

06

模块6

整车与混动控制系统

项目1 整车控制系统 / 174

- 6.1.1 传祺GA3S PHEV / 174
- 6.1.2 荣威ERX5 EV / 175
- 6.1.3 北汽新能源EV200 / 177

项目2 混合动力控制系统 / 181

- 6.2.1 丰田THS混合动力控制系统 / 181
- 6.2.2 本田IMA混合动力控制系统 / 183
- 6.2.3 本田i-MMD混合动力系统 / 185

07

模块7

其他高压与电动化部件

项目1 电动空调压缩机 / 187

- 7.1.1 宝马i3电动空调压缩机 / 187
- 7.1.2 奔驰S500 PHEV电动压缩机 / 190

项目2 电辅助加热器 / 190

- 7.2.1 宝马i3电控辅助加热器 / 190
- 7.2.2 宝马X1电气加热系统 / 196
- 7.2.3 传祺GA3S PHEV电辅加热系统 / 201

项目3 高压启动电动机 / 203

- 7.3.1 宝马X1/i8车型 / 203

7.3.2 别克君越混动 / 205

项目4 电动化部件 / 206

7.4.1 转向系统电动助力转向器 / 206

7.4.2 自动变速器电动冷却泵 / 207

7.4.3 制动系统电动真空泵 / 211

08

模块8

变速器与减速器

项目1 带电动机的自动变速器 / 214

8.1.1 宝马F18八挡自动变速器 / 214

8.1.2 奔驰S500 PHEV七挡自动变速器 / 218

项目2 减速器功能型变速器 / 219

8.2.1 宝马i3用变速器 / 219

8.2.2 特斯拉变速器 / 221

8.2.3 传祺机电耦合系统 / 221

项目3 行星齿轮组变速器 / 225

8.3.1 丰田P410混合传动桥 / 225

8.3.2 通用4EL70混动变速器 / 227

09

模块9

CAN通信数据总线

项目1 混动车型网络总线 / 229

9.1.1 大众途锐HEV总线网络 / 229

9.1.2 丰田MPX多路通信系统 / 231

项目2 纯电动车型网络总线 / 235

9.2.1 宝马i3网络总线 / 235

9.2.2 知豆电动汽车网络总线 / 239

10

模块10

氢燃料汽车

项目1 氢燃料汽车技术进程 / 240

项目2 氢燃料汽车构造 / 242

项目3 氢燃料汽车原理 / 246

01

模块1

新能源汽车概论



项目1 新能源汽车发展史

1.1.1 新能源汽车的演变

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，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，形成技术原理先进，具有新技术和新结构的汽车。

新能源汽车具体包括以下几种形式：油电混合动力汽车（又可分为汽油混合动力系统和柴油混合动力系统两种类型）；压缩天然气（CNG）和液化天然气（LNG）汽车（包括点燃式和压燃式）；煤驱动类汽车〔细分有点燃式M85甲醇汽油发动机、M15甲醇汽油机（部分新能源）、压燃式二甲醚（DME）发动机、煤制汽油和煤制柴油等能源类型〕；生物质能源驱动类汽车〔细分为E10乙醇汽油车（部分新能源）与柴油车（部分新能源）〕；来自于煤、铀、水力、风力、太阳能发电充电的纯电动汽车。

上面提到的大多类型新能源汽车在我国目前仍处于研发阶段，批量生产的较少。而压缩天然气和液化天然气汽车因其技术较简单，主要应用于重型货车和大型客车及少数出租车上。当下批量生产的新能源汽车主要有纯电动（EV）和插电式油电混合动力（PHEV）汽车及不可外接充电的油电混动汽车（HEV），其中油电混合动力汽车包括汽油/柴油两种油电混合动力系统。

传统汽车是靠内燃机将汽油/柴油的化学能转化为动能，但内燃机即汽车发动机的热效率仅为20%~40%，再加上原油开采、提炼、加工等工序，原油的平均能量利用率仅为14%左右。如果利用新能源转化的电能，纯电动汽车比燃油汽车节能达

70%，而费用方面也可节省50%左右。

由于石油是不可再生资源，终有一天会枯竭。同时，即使再省油的汽车也要依靠石油这单一的能量来源。电能作为二次能源，它不受石油资源的限制，除了煤炭之外，核能、风能、水力能、太阳能、潮汐能、地热都可以用来转化为电能，电动汽车是人类未来交通的必然选择。

今后煤电在电力资源中占的比例肯定会越来越低，而核电、光伏、风电、水电等新能源发电的比例将会越来越高，因此，电动汽车将会越来越环保。

使用纯电动汽车代替燃油汽车，是将燃油汽车分散的排放集中到了电厂的废气排放。而电厂的废气排放可以集中处理，无论是在技术上，还是在经济上，电厂的集中处理都要优于汽车的尾气排放。电动汽车代替燃油汽车可以大大降低一氧化碳（CO）和碳氢化合物（CH）的排放量，而随着技术进步和清洁能源发电的使用，氮氧化物（NO_x）和硫化物（SO_x）的排放也将有所降低。此外，燃油车尾气排放中的一氧化碳（CO）是剧毒物质，已经造成了许多起在车中或密闭车库中致人死亡的案件。

近年来，为了缓解全球气候升温的变化，不少国家和厂家纷纷做出禁售和减少开发与生产燃油汽车的目标和计划。

德国决定2030年起新车只能为零排放汽车，禁止销售汽油车与柴油车。

法国决定2040年后禁售汽油车与柴油车，目标是让法国在2050年前成为零碳排放国家。

荷兰要求2025年开始禁止在本国销售传统的汽油和柴油汽车。

挪威决定2025年起禁止燃油汽车销售。

印度表示到2030年只卖电动汽车，全面停止以石油燃油为动力的车辆销售。

沃尔沃宣布自2019年开始不再新开发燃油汽车，所有新款车型都将为纯电动或混合动力车型。

奔驰宣布将在2022年之前将整个汽车产品线实现电动化，全面停售传统燃油车型。

大众计划到2030年之前，实现所有车型电动化，停售传统燃油车型。

丰田宣布到2050年停售汽油车，到时将只出售混合动力及燃料电池汽车。

.....

我国的基本国情是“富煤、缺油、少气”，我国是世界上第二大原油消费国，并且最近已经取代美国成为世界上最大的原油进口国。目前国内石油消费市场对进口石油的依存度已经达到了58%。同时，我国煤炭储量位列全球前茅，目前电网的电力又以“煤电”占主导地位，发展纯电动汽车正好可以解决“缺油、少气”带来的问题。

发展纯电动车的另一个优势就是解决电网在昼夜间的负荷不平衡问题，全世界各个国家的电网都受这个问题的困扰。白天，电动汽车正常行驶；晚上，正好利用“谷电”为车辆充电。如果电动汽车夜间充电50kW·h的电能，几十万辆电动汽车就相当于一个千万千瓦级的电厂的调峰任务。利用夜间充电，现有的电网就已经能满足今后若干年电动汽车发展对电能的要求。这样不仅解决了电动汽车充电的问题，还同时有利于调节电网的昼夜间负荷不平衡问题。

电动汽车的核心技术是三电，即“电池、电机、电控”，而生产电池和电机所要的两关键性资源我国储量都十分丰富。电动汽车的主要动力电池大多为锂电池，而我国也是世界锂资源储量第三大国。电机目前普遍使用的是永磁同步电机，它需要利用稀土永磁材料来做电机的转子，而我国的稀土资源储量居世界首位，占了世界总储量的一半。目前稀土产品市场中，我国的产量占了世界市场的90%以上。因此，从资源上来说，我国有发展电动汽车的天然优势。

电驱型汽车始终是推动车辆发展的主要元素之一。电动汽车技术曾经在一段时间内被忽略了，因为当时油田的油气储量看似还很丰沛，但是后来，随着人们意识到油气储量正日益衰竭，同时，全球环境和气候保护也被提上日程，于是新能源汽车的推广与应用就变得越来越重要。

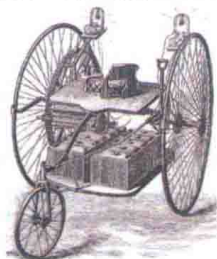
有关新能源汽车的发展时光轴请参见图1-1所示。

1834

美国人托马斯·达文波特于 1834 年制造了首辆搭载不可充电式蓄电池的由直流电机驱动的电动车，行驶里程为 15 ~ 30km

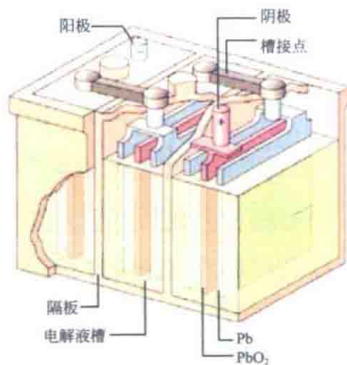
1859

首款官方认可的电动车诞生，是一款三轮车型，由巴黎的古斯塔夫·波尔图打造。该款车型搭载了可充电式铅酸蓄电池，车速可达 12km/h



1881

法国人普兰特于 1859 年发明了可充电式铅酸蓄电池



1882

1881 年维尔纳·冯·西门子制造了世界上第一辆有轨电车，次年，制造了一辆无轨电动车。这款车即世人所知的“Electro-Motte”或“Electromote”，它被认作是世界上第一辆无轨电车

1898

巴黎人查尔斯·简托德创立的公司在世纪之交（1893 ~ 1906 年）成为电动车领域的领航者。其中的一款车型创下了 37.7km/h 的车速纪录



1900

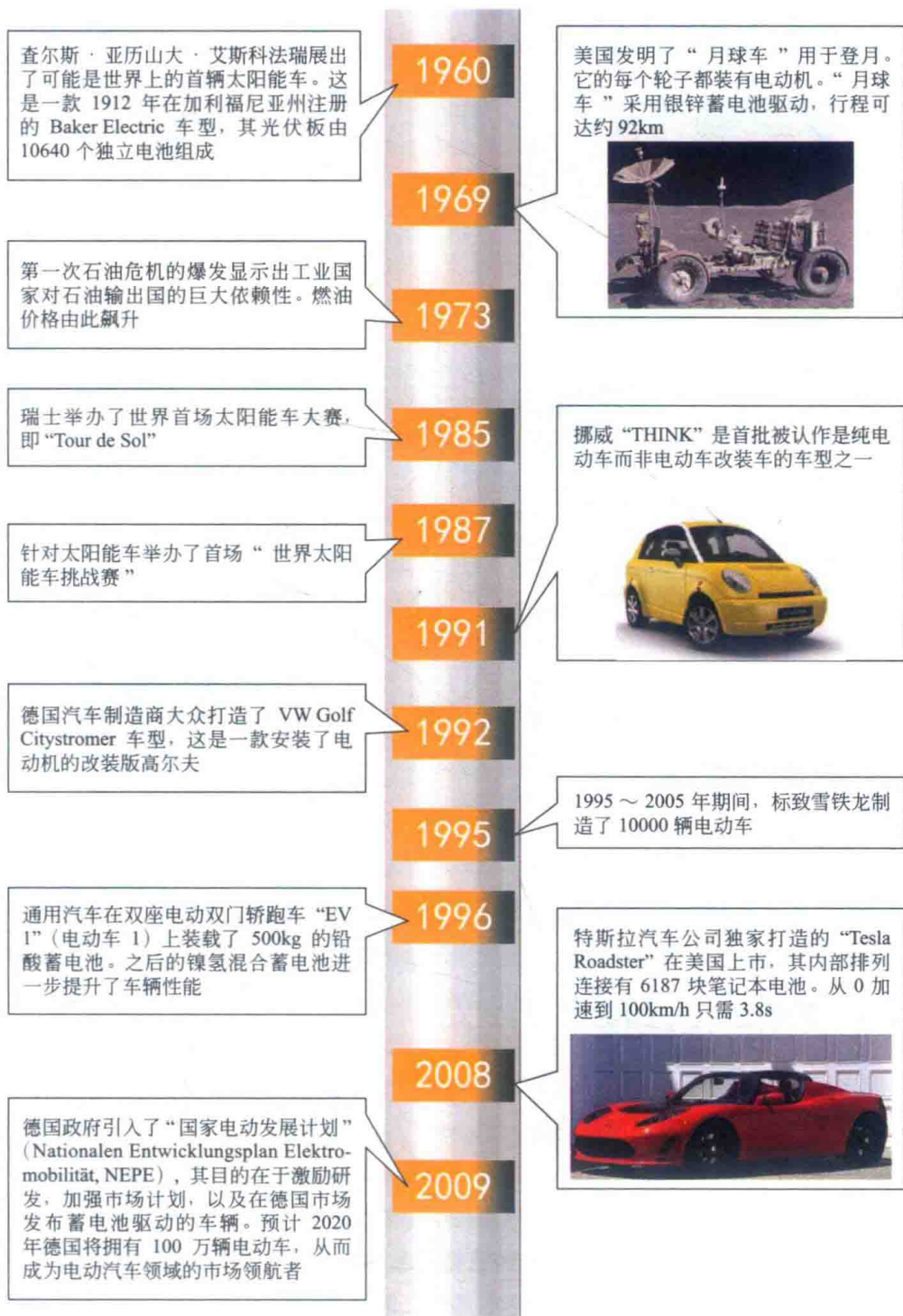
斐迪南·保时捷在巴黎博览会上展出了在前桥的两个车轮上安装有车轮电机的车辆

1902

瑞士行业领先的电动产业公司 A. Tribelhorn 开发了其首款装备电动机的车型。在大约 20 年的时间里，该公司主要生产电动商用车

1913

首家加油站在美国匹兹堡投入运营。之后不久，几乎每个城镇都有了加油站。搭载发动机的车辆之所以脱颖而出，要得益于其优化的结构、低价的汽油，以及更高行程发动机的开发



▲ 图 1-1 新能源汽车的发展时光轴

1.1.2 新能源汽车的兴起

图 1-2 所示为促进新能源汽车普及的诸多因素。



▲ 图1-2 促进新能源汽车普及的诸多因素

1.1.3 新能源汽车的优势

相比目前普遍使用的发动机（汽油发动机与柴油发动机）车辆，新能源（目前主要为电能）汽车具有以下明显优势。

① 电动驱动装置行驶电动机较发动机运行起来更加静音，因此电动汽车的噪声排放非常低。高速运行时，最响的声音只是轮胎与路面的摩擦噪声。

② 电动车在行驶过程中不会排放有害物质或温室气体。如果车辆的高压蓄电池由可再生能源进行充电，则电动车不会排放任何二氧化碳气体。

③ 在不久的将来，如果极度拥挤的市中心规定是“零排放”区，则只能在其中驾驶电动车辆。

④ 电动驱动装置行驶电动机十分强劲，基本无需维护。它只会发生少量机械磨损。

⑤ 电动驱动装置行驶电动机效能极高（96%），而发动机的效能仅为35%~40%。

⑥ 电动驱动装置行驶电动机拥有卓越的扭矩和输出特征，从静止开始便可产生最大扭矩。这使得电动车较发动机车而言可在输出相同的情况下进行更快的加速。

⑦ 驱动系统设计更加简单，因为电动车不再需要装备变速箱、离合器、消音器、微粒过滤器、油箱、启动器、交流发电机及火花塞。

⑧ 车辆制动时，电动机还可用作交流发电机，用于发电并为蓄电池充电（再生性制动）。

⑨ 可以在家里、停车场使用任何电源插座为高压蓄电池充电。

⑩ 只在用户需要的时候提供能量。与传统车辆相比，车辆停止时（如遇红灯），电动驱动装置行驶电动机不再运行。电动驱动装置行驶电动机特别高效，尤其在交通堵塞时。

⑪ 电动驱动装置行驶电动机上不再搭载变速箱，此外，电动汽车也不再需要任何润滑油。

项目2 新能源汽车的类别

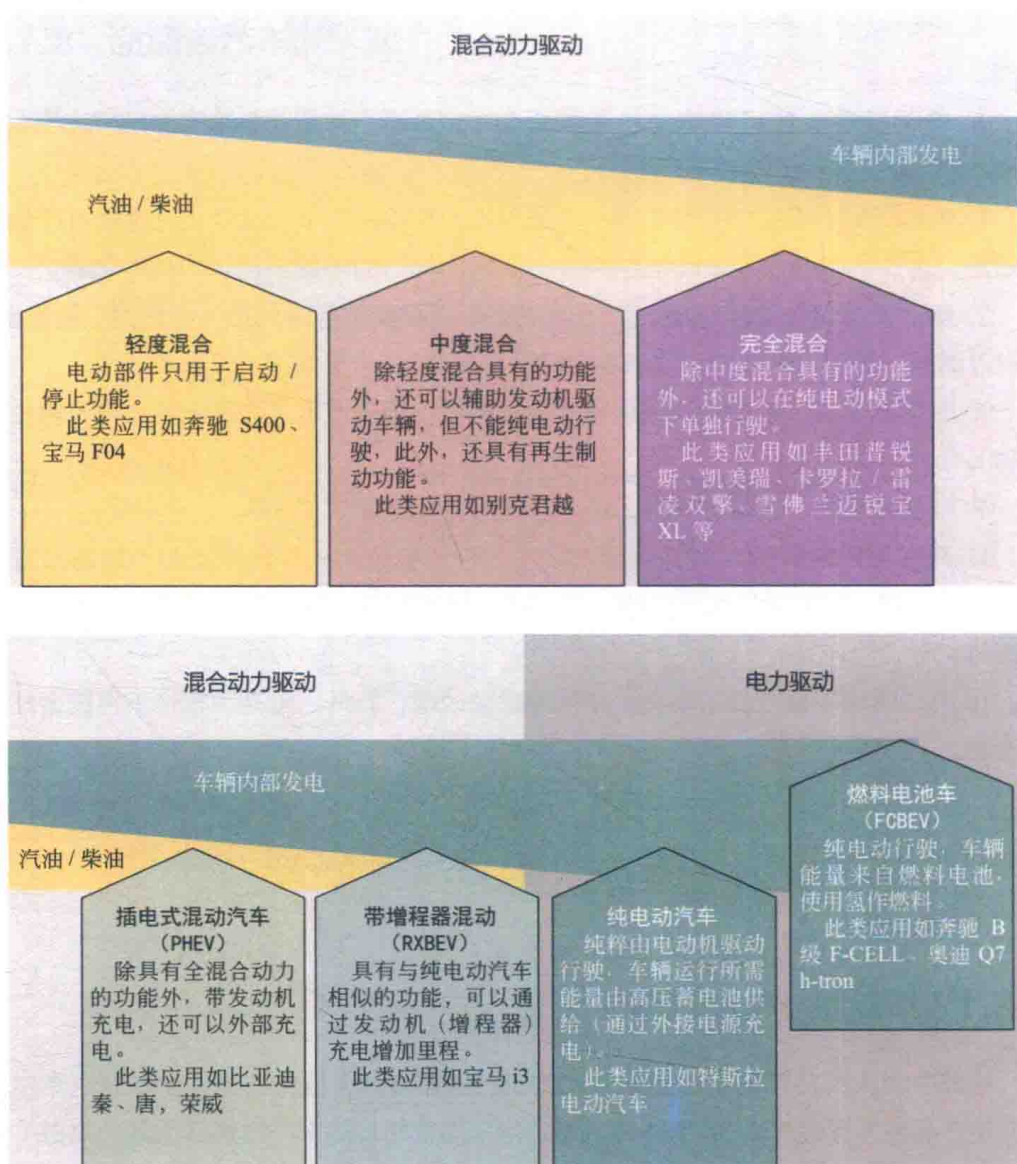
1.2.1 新能源与电动汽车的定义

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汽车、纯电动汽车（BEV，包括太阳能汽车）、燃料电池电动汽车（FCEV）、氢发动机汽车、其他新能源汽车等各类产品。

电动汽车则指的是所有使用电能驱动的车辆。这包括蓄电池驱动车辆和混合动力车（完全混合动力车）或搭载燃料电池的车辆。

全部或部分由电机驱动，并配置大容量电能储存装置的汽车统称为电动汽车（EV，Electric Vehicle），包括纯电动汽车（BEV，Battery Electric Vehicle）、混合动力电动汽车（HEV，Hybrid Electric Vehicle）和燃料电池电动汽车（FCEV，Fuel Cell Electric Vehicle）三种类型。图1-3所示为油电混动至纯电动汽车的演变。



▲ 图 1-3 油电混动至纯电动汽车的演变

1.2.2 纯电动汽车 (BEV)

纯电动汽车是完全由可充电电池（如铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池或锂离子电池）提供动力源的汽车。典型车有如图 1-4 所示的特斯拉 MODEL S 电动汽车。

纯电动汽车的优点如下。

- 无污染、噪声小。
- 结构简单，使用维修方便。