




汽车先进技术译丛  
新能源汽车系列

 Springer


# 混合动力汽车技术

## Hybrid Electric Vehicle



【奥地利】彼得·霍夫曼 (Peter Hofmann) 著  
耿毅 耿彤 译



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

汽车先进技术译丛  
新能源汽车系列

# 混合动力汽车技术

[奥地利] 彼得·霍夫曼 (Peter Hofmann) 著  
耿毅 耿彤 译



机械工业出版社

纵观混合动力汽车技术发展史，油电混合动力脱颖而出，成为欧、美、日各大汽车制造商的重点研发项目之一。混合动力汽车技术的发展离不开立法支持，本书介绍了美国、欧洲的现行排放标准以及法规的进化过程，进而探讨如何降低能耗、控制尾气排放和噪声污染，以及扩展车辆的功能性和电力供应的可能性。

本书的核心部分由点到面全面呈现了混合动力汽车技术。第4章集合了混合动力车辆机械驱动、电力驱动的各个组成部分和工作原理，以及辅助设备的应用。第5章介绍了混合动力车辆的动力管理、运行策略及模拟行驶。第6章和第7章着重介绍欧、美、日多款混合动力轿车、摩托车、公交车、货车和工程车的混合驱动实例，并配以丰富的图片和主要技术参数。

本书针对的读者群为研究和开发混合动力汽车技术的工程师和学生，也可供汽车制造业及管理机构、学术界等相关人员参考使用。

Translation from German language edition:

Hybridfahrzeuge

by Peter Hofmann

Copyright© 2010 Springer Vienna.

Springer Vienna is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved.

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 Springer 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内地区（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2013-5541 号。

## 图书在版编目（CIP）数据

混合动力汽车技术 / (奥)彼得·霍夫曼 (Peter Hofmann) 著；耿毅，耿彤译. —北京：机械工业出版社，2016.12

ISBN 978-7-111-55505-6

I. ①混… II. ①彼… ②耿… ③耿… III. ①混合动力汽车  
IV. ①U469.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 287425 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：连景岩 杜凡如 责任编辑：连景岩 杜凡如 谢元

责任校对：张薇

封面设计：鞠杨

责任印制：李昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 19.25 印张 · 2 插页 · 465 千字

0 001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-55505-6

定价：139.00 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

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线：010-68326294

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

## 译 者 序

目前，汽车被认为是世界上最受欢迎的交通工具，而节能减排也正在成为人们日益关注的话题。

以节能、环保为出发点的混合动力汽车（含纯电动汽车）及其相关的材料、电机、液力系统、发动机、蓄能系统、控制系统等也取得了巨大的进展和举世瞩目的成就。

近几年来，我国的混合动力汽车工业取得了长足的进步，“他山之石，可以攻玉”，借鉴国外，尤其是欧美发达国家的先进技术，对于目前我国汽车工业的发展具有一定意义。本书的译者为耿毅、耿彤，其中耿毅负责翻译文字部分，耿彤负责翻译图表并对整书的文字表达和内容进行了通篇整理。本书原作者为奥地利维也纳工业大学的彼得·霍夫曼教授，其学术造诣深厚但用词较为生涩，耿彤对很多技术表达做了符合国内读者技术习惯的修改，使之更容易被国内读者理解。

本书从实际应用的角度出发，不仅有丰富的理论阐述，更有丰富的实际整车及部件的开发案例。全书内容新颖翔实，数据完整，比较完整地讲述了混合动力汽车的组成、设计、制造、控制等关键技术要点，对于设计、调试、制造混合动力汽车具有指导意义。

本书可以作为汽车工程技术人员的参考书，也可以作为大学高年级学生及研究生的学习资料，而且针对汽车制造业、管理机构及学术界，也是一本研究混合动力汽车的好书。

由于译者水平有限，加之时间仓促，不当之处，恳请指正。

耿 毅

耿 彤

## 译者简介

### 耿毅

1981 年出生于重庆。

1999 年就读于四川外国语大学。

2001 年赴德国法兰克福歌德学院学习德语。

2003 年起就读美茵茨大学英语系。

2004 年进入美茵茨大学翻译学院 FTSK (Fachbereich Translations-, Sprach- und Kulturwissenschaft der Universität Mainz in Gernersheim), 主修中德、英德互译, 辅修汽车技术、能源、环保、计算机等专业, 获得德国翻译学 Diplom-Übersetzer 学位。目前仍在德国从事技术翻译。



### 耿彤

1969 年出生于上海。

1991 年从上海工程大学机械系毕业后进入上海起重运输机械厂工作。

1999 年起在德国勃兰登堡州立科特布斯工业大学学习德语。

2001 年起在德国斯图加特大学攻读汽车和发动机工程专业, 获德国工学硕士 Diplom-Ingenieur (Dipl. -Ing.) 学位, 毕业后在德国从事过的专业领域主要有: 整车理论和设计、行驶动力学、车身及底盘技术。

2012 年创办苏州雷姆斯汽车工程有限公司, 从事国家战略性车用产品的设计开发、重型货车核心部件的设计及制造。



## 前 言

混合动力汽车目前正处于蓬勃发展的时期，几乎所有的汽车生产商都在开发混合动力技术，然而混合动力并不是一项全新的技术，这一技术几乎与汽车工业同时诞生。该技术发展初期的研究方向是在常规驱动装置与电力驱动装置相结合的基础上，研究如何调节发动机与动力传输（手动变速器和离合器）。如今，对混合动力系统发展起推动作用的首先是省油和减排，其次是实现混合动力的各种辅助功能，例如部分路段纯电动行驶、各种转矩矢量控制和移动供电技术。

混合动力技术通常被视为燃料电池驱动的过渡技术，因此可以预计的是，燃料电池驱动的汽车将适配蓄电装置，因此也属于混合动力汽车。混合动力技术为电动汽车进入市场和普及做出了巨大的贡献。由于蓄电池容量不足难以达到电动汽车技术所需的续航里程，所以电动汽车需要配备发动机作为增程器。

目前混合动力技术应用广泛，小到混合动力摩托车和轿车，大到货车以及公交车都可以应用此项技术。特别是当必要条件或行驶特点可以精确定义时，如对公交车、货车来说，可以相应地调整混合动力技术并优化运行策略，从而发掘出最大的省油潜力。

混合动力技术的应用越来越普遍，同时也提高了车辆的生产成本。从长远目标来看，所增加的生产成本要么通过省油节能摊还，要么通过车辆在驾驶乐趣或辅助功能方面相应增值达到平衡。政府将会通过税收和收费系统，以及在某些区域内实施限行措施，加大新技术的推广力度。

为了使混合动力汽车顺利地开发和生产，所有部件都必须达到相互的完全的协调，因此需要跨专业合作，取长补短，实现互补和协调。其中最大的挑战在研发方面，因为从发动机到变速器、电动机和储能装置各方面都需要比以往任何时候更多的来自不同的领域工程师的精诚合作，所以有必要更多地理解其他学科的基本知识，并强化沟通和知识共享。

为完成这本书的编写，本人得到了很多专业人士的帮助，比如技术讨论、文字校对和建议，在此表示诚挚的谢意。在此，尤其要提到 Andreas Schmidhofer 博士、Hochgatterer 博士和 Bernhard Schneeweiss 博士分别在章节“电机”“蓄能器”和“动力管理系统”的积极参与以及 Wolfgang Kriegler 博士对本书框架结构提出的建议。

必须提到的还有 Hans Peter Lenz 教授、Ernst Fiala 教授、Jürgen Stockmar 教授、Fritz Indra 教授和 Bernhard Geringer 教授提出的建议和进行的校对工作。

除此之外，还要感谢 Jaroslav Richter 先生和我的妻子 Tatjana 以及同事和朋友们对本书的大力支持。

值得一提的还有各大代工厂、供应商、研究所等在本书写作过程中做出的贡献。正是因为混合动力技术涵盖的范围广泛，所以必须是很多专业知识的集合。混合动力技术涵盖面广，其精髓在于将专业人士的专业知识结合起来。

本书将介绍混合动力汽车的基础知识、各种部件及其技术，以及部件之间的联系，还将探讨对混合动力汽车的普及产生显著影响的其他条件。

## VI 混合动力汽车技术

混合动力汽车技术是一个极具创新的领域，在该领域中新发展和技术飞跃层出不穷。本书针对的读者群是研究和开发混合动力汽车技术的工程师和学生，以及对该领域感兴趣的从业人员。

彼得·霍夫曼

# 目 录

译者序	
译者简介	
前言	

---

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 汽车发展及其对环境的影响.....	1
1.2 混合动力汽车发展史.....	4
1.3 混合动力汽车的发展前景.....	9

---

<b>第 2 章 混合动力方案的定义和分类</b> .....	13
2.1 串联式混合动力 .....	14
2.2 并联式混合动力 .....	16
2.3 功率分流式混合动力 .....	18
2.4 微混合动力 .....	31
2.5 中度混合动力 .....	33
2.6 全混合动力 .....	34
2.7 插电式混合动力 .....	35
2.8 小结：混合动力系统 .....	39

---

<b>第 3 章 发展混合动力系统的出发点</b> .....	42
3.1 政策法规.....	42
3.1.1 美国排放法规 .....	44
3.1.2 欧洲排放法规 .....	49
3.1.3 小结.....	53
3.2 油耗 .....	54
3.2.1 负荷点提升 .....	54
3.2.2 起/停系统 .....	56
3.2.3 电力驱动 .....	58
3.2.4 能量回收 .....	62
3.2.5 小结：节能潜力 .....	65
3.3 排放和噪声控制 .....	67
3.3.1 零排放电动行驶 .....	67
3.3.2 负荷点提升 .....	67



3.3.3	起/停技术 .....	71
3.4	功能性 .....	71
3.4.1	E4WD——电动四驱 .....	71
3.4.2	转矩矢量分配系统 .....	71
3.4.3	供电—充电站 .....	75
<hr/>		
<b>第4章</b>	<b>混合驱动系统 .....</b>	<b>77</b>
4.1	发动机 .....	77
4.1.1	汽油机 .....	77
4.1.2	柴油机 .....	77
4.1.3	二冲程发动机 .....	78
4.1.4	旋转活塞发动机 .....	79
4.1.5	斯特林发动机 .....	80
4.1.6	燃气轮机 .....	83
4.1.7	燃料电池 .....	83
4.2	电机 .....	85
4.2.1	工作界限和特性曲线 .....	86
4.2.2	直流电机 .....	89
4.2.3	交流电机 .....	90
4.2.4	异步电机 .....	91
4.2.5	同步电机 .....	92
4.2.6	永磁同步电机 .....	92
4.2.7	开关磁阻电机 .....	94
4.2.8	横向磁通永磁电机 .....	94
4.2.9	电机比较 .....	96
4.2.10	实施方案 .....	98
4.2.11	集成式变速器 .....	99
4.3	功率电子装置（整流器） .....	105
4.3.1	半导体器件 .....	106
4.3.2	电路 .....	106
4.4	蓄能器 .....	110
4.4.1	概述 .....	110
4.4.2	二次电池 .....	113
4.4.3	铅酸电池 .....	118
4.4.4	镍镉电池 .....	120
4.4.5	镍氢电池 .....	121
4.4.6	锂离子电池 .....	123
4.4.7	Zebra 电池 .....	126
4.4.8	钠硫电池 .....	127

4.4.9 超级电容 .....	127
4.4.10 飞轮蓄能器 .....	130
4.4.11 液压气动蓄能器 .....	132
4.4.12 各种蓄能系统的比较 .....	143
4.5 辅助装置 .....	146
4.5.1 液压脉冲储存器 (HIS) .....	147
4.5.2 电动助力转向器 .....	149
4.5.3 车载暖风和空调 .....	151
<hr/>	
<b>第5章 动力管理系统</b> .....	<b>154</b>
5.1 混合动力汽车的工况 .....	155
5.2 运行策略 .....	156
5.2.1 运行策略分类 .....	156
5.3 混合动力汽车模拟行驶 .....	158
5.3.1 混合动力汽车建模 .....	159
5.3.2 运行策略举例 .....	165
5.3.3 电器元件参数选择 .....	172
5.3.4 热管理对运行策略的影响 .....	176
5.4 前瞻性运行策略 .....	180
<hr/>	
<b>第6章 轿车和摩托车混合动力方案详解</b> .....	<b>185</b>
6.1 丰田普锐斯 .....	185
6.2 雷克萨斯 RX400h 和 RX450h .....	195
6.3 雷克萨斯 GS450h .....	199
6.4 雷克萨斯 LS600h .....	202
6.5 本田整体式电机辅助 (IMA) 混合动力系统 .....	206
6.6 奔驰 S400 混合动力 .....	214
6.7 奔驰 ML450 混合动力 .....	220
6.8 宝马 X6 ActiveHybrid .....	223
6.9 麦格纳 HYSUV .....	228
6.10 大众途锐混合动力 .....	230
6.11 AVL ECO Target 混合动力 .....	237
6.12 AVL Turbohybrid .....	240
6.13 欧宝 Flextreame 和 Ampera .....	246
6.14 大众插电式高尔夫 twinDrive .....	248
6.15 丰田 Supra HV - R 混合动力 .....	252
6.16 比亚迪 MP3 混合动力 .....	254

<b>第7章 公交车和货车混合动力技术详解</b> .....	257
7.1 混合动力公交车.....	261
7.1.1 Orion 7代 HybriDrive 公交车.....	261
7.1.2 三菱扶桑 Aero 公交车.....	263
7.1.3 奔驰 Citaro G BlueTec 混合动力公交车.....	264
7.1.4 曼混合动力公交车.....	265
7.1.5 Hess 双铰接混合动力公交车.....	269
7.1.6 沃尔沃 7700 并联式混合动力公交车.....	269
7.1.7 依维柯 Irisbus Hynovis 混合动力公交车.....	272
7.1.8 Solaris Urbino 18 混合动力公交车.....	273
7.1.9 斯堪尼亚混合动力概念公交车.....	273
7.2 混合动力货车.....	276
7.2.1 奔驰斯宾特 (Sprinter) 插电式混合动力多用途货车.....	276
7.2.2 曼轻型货车.....	278
7.2.3 三菱扶桑 Canter Eco 混合动力轻型货车.....	282
7.2.4 奔驰福莱纳 M2.....	284
7.2.5 奔驰 Atego BlueTec 混合动力货车.....	285
7.2.6 沃尔沃 FE 垃圾回收车.....	286
7.2.7 搭载液压再生制动系统的垃圾回收车.....	287
<hr/>	
<b>第8章 发展前景</b> .....	289
<hr/>	
<b>参考文献</b> .....	290

## 汽车发展及其对环境的影响

移动性是人类的基本需求之一，因此汽车被认为是全球最受欢迎的陆上交通工具，汽车工业则是主要的制造业之一。在过去的 100 年里，汽车一直在不断发展，尽管在安全性、舒适性、性能和效率等方面得到稳步改善，但仍有优化发展的潜力可挖。汽车油耗和相应的二氧化碳排放量首当其冲，成为关注的焦点，原因之一在于化石燃料储量有限，特别是自工业革命以来大气中的二氧化碳含量剧增，对全球气候变暖造成不可逆转的影响，见图 1.1。

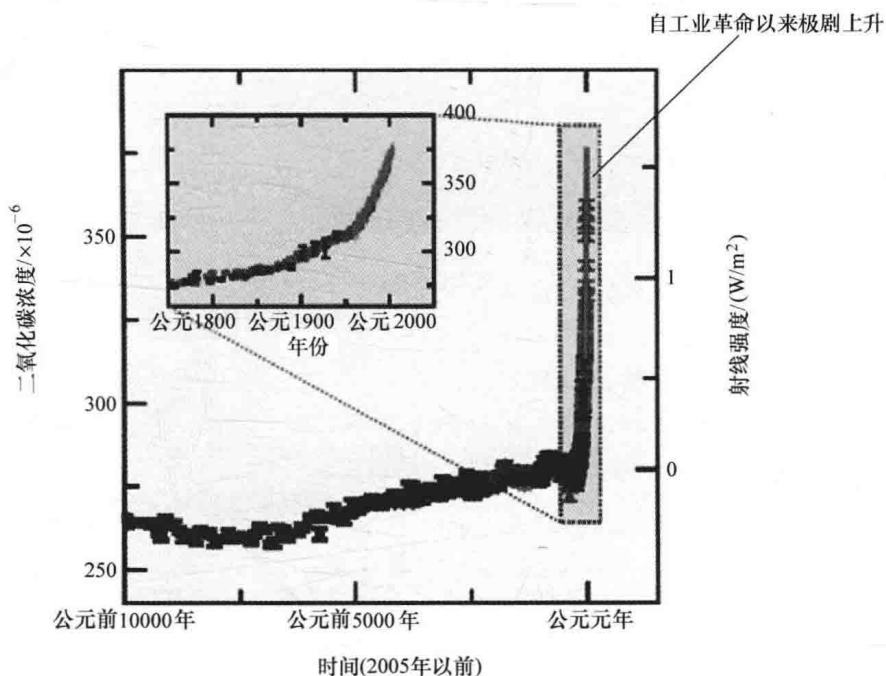


图 1.1 公元前 10000 年及公元 1750 年以来大气中的二氧化碳浓度和射线强度

从图 1.2 中可以看出，仅 2005 年，交通运输行业造成的二氧化碳排放量在欧盟国家约占人为二氧化碳排放总量的四分之一。为了遏制这一比例的扩大，需要在各个行业采取措施。

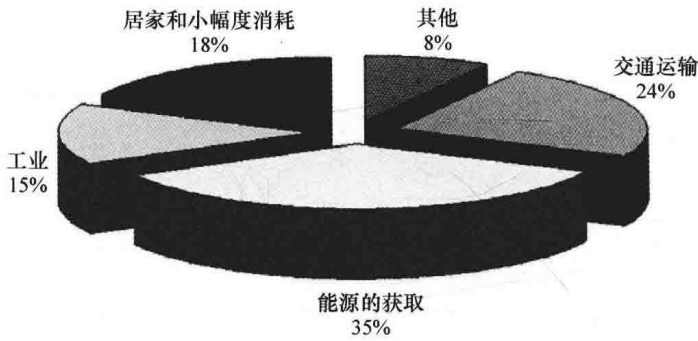


图 1.2 欧盟 15 国各个行业 CO<sub>2</sub> 排放量占比 (2005 年)

在汽车工业方面，欧盟的规定是：在 2012 年，各大汽车制造商全部新出厂的车辆平均二氧化碳排放量达到 120g/km，见图 1.3。因此需要通过改进发动机和汽车技术先将二氧化碳排放量减至 130g/km，剩下的 10g/km 的二氧化碳排放量将通过采取一些辅助措施达到，比如用生物燃料代替常规化石燃料。2012 年欧盟各大汽车制造商 65% 的出厂汽车必须达到 120g/km 的二氧化碳排放标准。基本上，如雪铁龙 C1、雷诺 Twingo 1.5 DCI、大众 Polo、Smart 等汽车已经达到新欧洲循环行驶标准所规定的 120g/km 的二氧化碳排放标准。然而消费者购买排量更大的汽车的趋势有增无减，因此只通过不断改进动力总成而减少出厂车辆的平均油耗值是不够的。

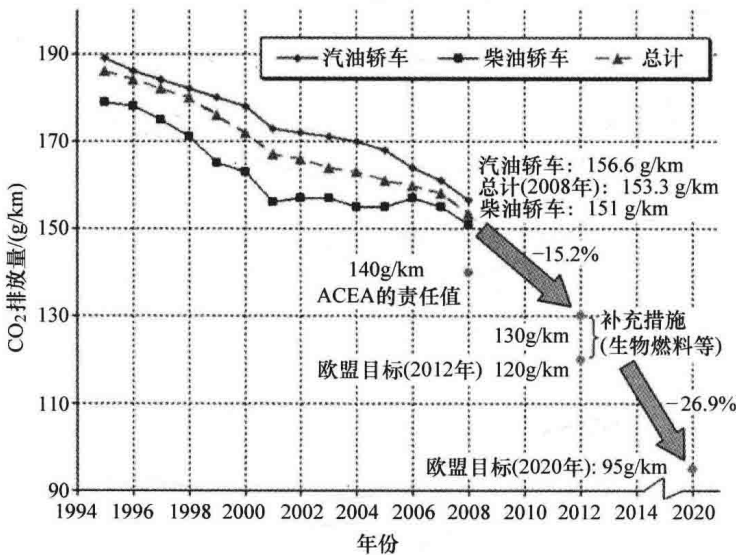


图 1.3 欧盟 15 国平均每台出厂新车的 CO<sub>2</sub> 排放量及 2020 年的排放目标

即使是在减排的大环境下，个别欧盟国家生产厂商全部汽车的平均油耗值有暂时上升的趋势，部分原因是大型越野车销售量居高不下。如图 1.3 所示，近年来柴油车销售量大增在一定程度上延缓了这一上升趋势。由于汽车购买力几乎没有受到高油价的影响，要提高大排量车辆的性能和效率必须大力寻求技术上的突破。因为能量是守恒的，所以这些技术方向所指的只能是提高能量转换效率、提升操作自由度以及加大汽车怠速时能量回收的可能性。根据新欧洲循环行驶标准，汽车在市内行驶时具有极大的节能潜力。混合动力汽车发展前景可观，因为该技术不仅能持续地提高发动机性能，即提高初次能源转换效率，而且为进一步能

源转换提供更多的自由度，比如制动能量的回收和储存等可能性。

混合动力的英文单词“Hybrid”来自拉丁语，表示“两种、两类”，转义表示“父母”。联合国在2003年对混合动力汽车给出如下定义：混合动力汽车是指至少搭载两种用于驱动车辆的动力源和两种蓄能系统的汽车。从理论上而言，化学能、电能或机械能的储存皆有可能。实际上，传统化学蓄能器的搭配，即可在行驶中回收能量的蓄能器将提升车辆操作自由度。在此，化学蓄能器即能量载体，是指汽油和柴油，而回收能量的蓄能器是蓄电池或机械蓄能系统。

在汽车发展史中，曾有人多次试图利用机械蓄能系统，如飞轮、弹簧蓄能器、蓄压器等，但到目前为止，这些系统无一在汽车工业领域内获得更大成功。图1.4为从1956年产飞轮蓄能公交车（样车）在所谓的“充电站”充电。充电过程中，电流通过一台电动/发电一体机带动飞轮高速转动形成动能。储存的动能在行驶过程中通过发电机转化为电能，用于车辆纯电动驱动。由此使车辆行驶到下一站，即在所谓的“充电站”再次充电。

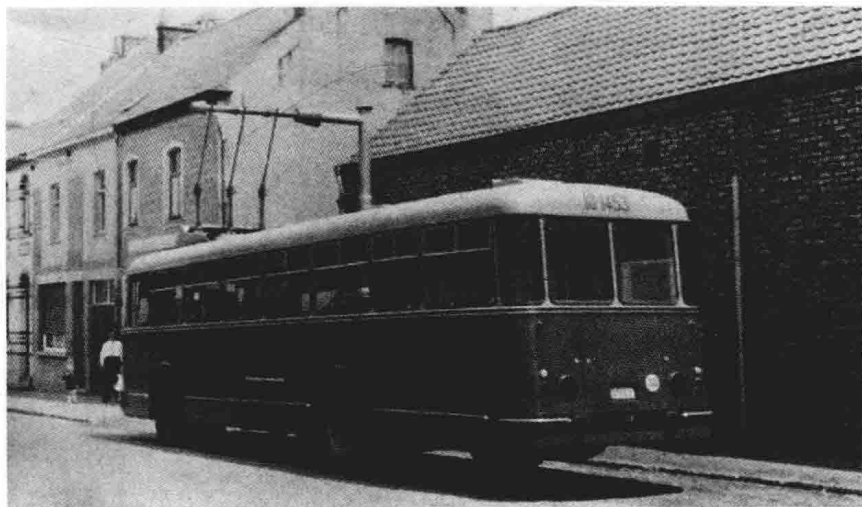


图1.4 飞轮蓄能公交车（Gyrobus）于1956年在比利时梅勒尔贝克终点站的充电站充电

一方面由于飞轮可储存的能量密度相对有限，另一方面，飞轮蓄能系统存在不容忽视的潜在危险，即在释放储存的能量过程中不受控制，因此该蓄能系统曾消失了很长一段时间。目前这种尝试被重新启动，例如在某些赛车上被使用，参见本书章节4.4。

气动或液压气动蓄能系统一直是热门课题。1931年，美国工程师罗伊·杰罗姆·迈耶斯发明了搭载6缸空气动力发动机的压缩空气动力汽车，虽然行驶速度缓慢，但有效行驶距离相当可观，见图1.5。

整体效率低和蓄能密度低意味着该系统作为汽车驱动系统并不能满足要求，而只能进行其他的尝试，比如应用于井下采矿作业。气动液压蓄能器是气动和液压两个系统的结合体，拥有巨大潜力。如图1.6所示，它由一个高压蓄能器一个低压蓄能器和一台运转可逆的液压机组成。其中，液压机相当于涡轮机和气泵。车辆减速时液压流体被从低压蓄能器抽到高压蓄能器中，从而压缩其中的惰性气体。在加速的时候恰恰相反，所储存能量通过涡轮模式驱动车辆。

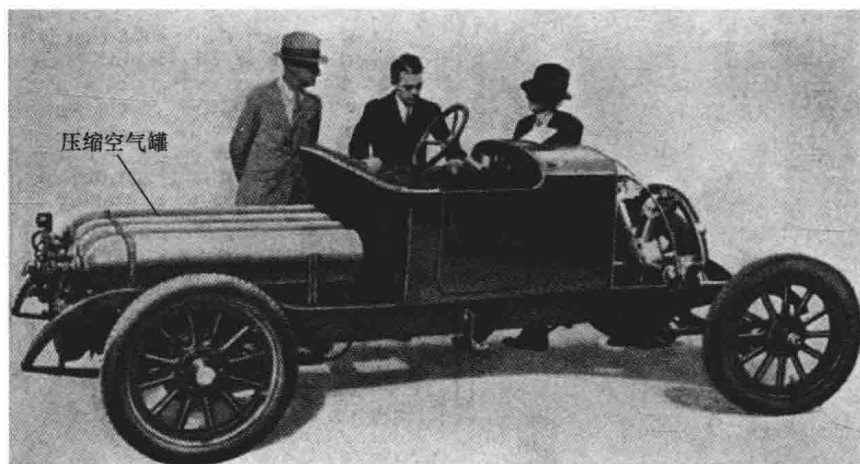


图 1.5 迈耶斯的压缩空气动力汽车（1931 年）

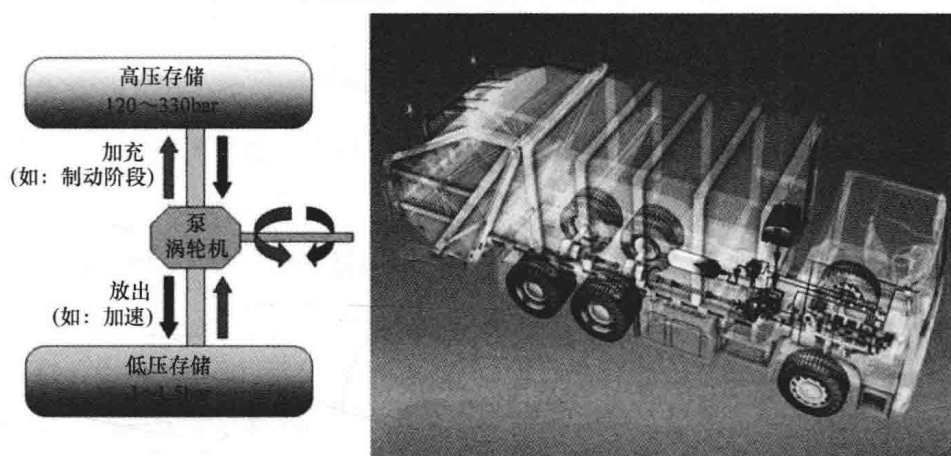


图 1.6 在垃圾收集车上的气动液压蓄能器的工作原理

虽然该系统功率密度非常高，但与蓄电系统的能量密度相比，仍然非常有限，因此该系统应用在常规车辆中并不现实。该系统在某些领域的应用上一直卓有成效，例如重型市政车辆，如公交车、垃圾回收车、铲车，原因在于该系统成本低、结构简单，见本书第 7 章所述的公交车和搭载博世力士乐系统的垃圾回收车。

真正有所突破和迄今为止覆盖面最广的要数以化学和电力系统组合为基础的混合动力汽车。这类车或多或少通过传统的发动机将燃料中的化学能转化成机械能，同时通过电动机将存储在电池或电容器内的电能转化为机械能，或者反之通过发电机将机械能转化为电能。

## 混合动力汽车发展史

其实在汽车发展的早期就已经研发出混合动力汽车。作为洛纳汽车公司研发主管，费迪南德·保时捷（Ferdinand Porsche）于 1899 年在维也纳打造出一辆混合动力汽车。该车于 1900 年巴黎世博会上展出并引起极大轰动。这款交通工具的组成部分不含齿轮、传动带、链条、差速器等中间传动装置，也就是说，这是历史上第一辆非传动式动力汽车。如图 1.7 所示，这辆车左右两个前轮的轮毂上各装配一台电机，并同时作为驱动轮和转向轮。这台轮毂电机驱动汽

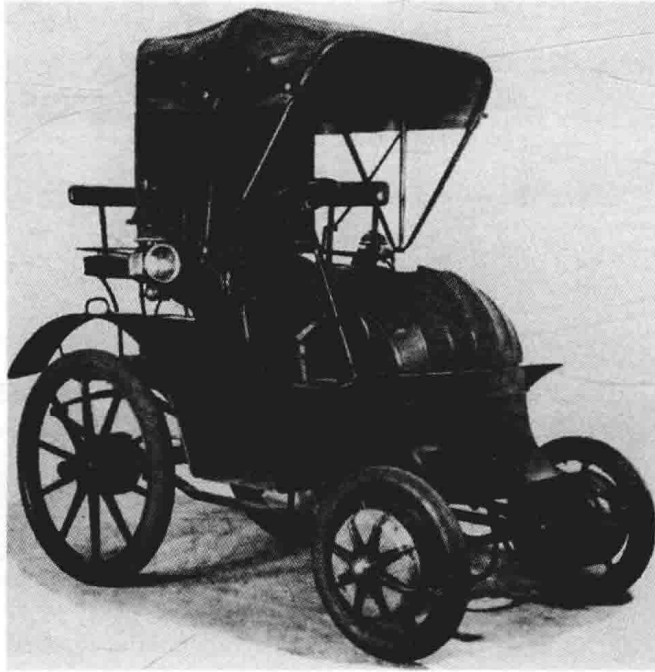


图 1.7 洛纳-保时捷车型采用轮毂电机前轮驱动（重达 1t）  
（含有 410kg 电池）约 50km 续航能力，最高速度 50km/h

车让 24 岁的保时捷在汽车工业界一举成名。这辆由两台轮毂电机驱动的电动车以端电压 60 ~ 80V、电量 170 ~ 300A · h 蓄电池作为电源。轮毂电机的功率为 2.5PS (1PS = 735.5W)，转速为 120r/min。该车的弱点是续航里程有限，仅为 50km。因此保时捷在此基础上为这款汽车加载了汽油机和发电机，从而可以在行驶过程中在一定程度上完成充电功能。根据今天的定义，这款在维也纳发明的轮毂电机驱动的汽车属于串联式混合动力汽车。

随后混合动力汽车的历史时间轴为：首先出现的是迪翁发动机，然后是戴姆勒发动机、梅赛德斯发动机，此后是潘哈德发动机，直到最后梅赛德斯 Mixte 问世。

如图 1.8 所示，油电混合动力汽车使用奥地利戴姆勒发动机公司生产的直列四缸发动机。在汽油机飞轮处装配一台发电机。发电机直接连接发动机曲轴。发电机的电枢缠绕在一块磁星上。汽油机转动，将动能转化为电能，通过电线传输给轮毂电机。该系统采用的是串联式混合动力技术。

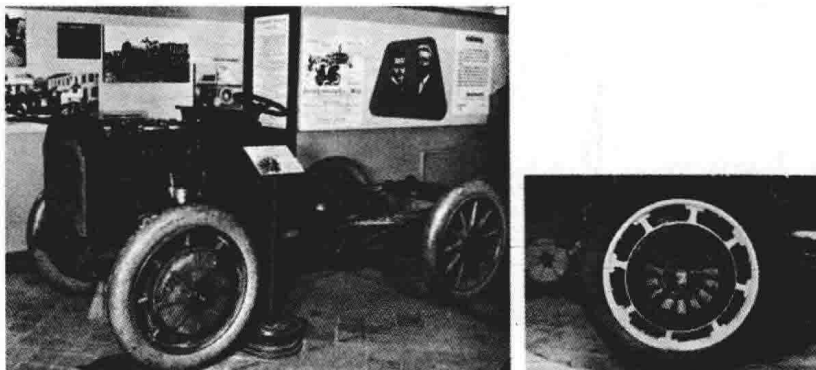


图 1.8 洛纳-保时捷车型的油电混合动力汽车（1901—1905 年制造，轮毂内有电机电极）



轮毂中的电机具有一个电枢及旋转的机壳。机壳连接轮辋，作为车轮的一部分。磁星嵌入驱动轴，目的在于固定，如图 1.8 所示。

该混合动力系统主要应用于货车、公交车和消防车，也应用于赛车，如图 1.9 和图 1.10 所示。

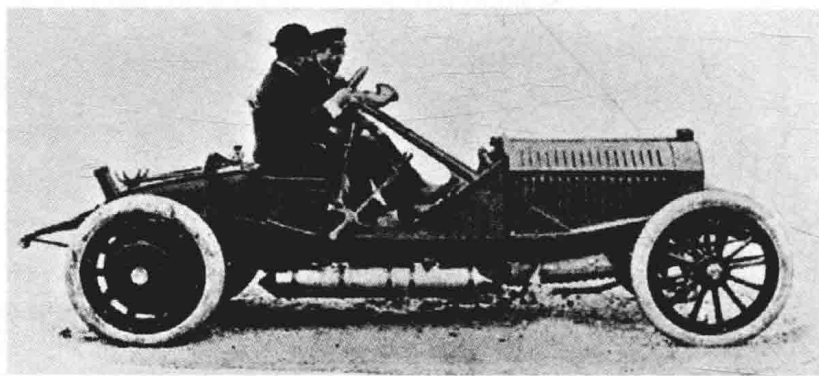


图 1.9 由费迪南德·保时捷驾驶的 Mixte 赛车



图 1.10 1908 年 9 月 6 日《汽车汇报》上刊登的广告

梅赛德斯 Mixte 赛车被寄予厚望，但在其发展过程中却出现了瓶颈。随着发动机技术的进步，汽油机的转速越来越高。这在混合动力汽车上的进一步体现则是：在保持相同速度的同时，虽然增加了电极数量，但电机由此产生的热量无法完全散出。之后，轮毂电机被其他技术所取代。

混合动力在汽车行业消失，但这一系统却被运用于军事中，如第一次世界大战时出现的重型火炮运输车和后备军用列车。

当时混合动力汽车的研发也是在全球范围内展开的。几乎在洛纳-保时捷混合动力汽车