



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会推荐出版

 Springer

机动车混合动力系统： 原理、组件、系统、应用

[德]康拉德·莱夫 (Konrad Reif)

[德]卡尔·诺来卡特 (Karl E. Noreikat) 主编

[德]凯·伯格斯特 (Kai Borgeest)

邹 渊 陈 瑶 韩维文 译

KRAFTFAHRZEUG-
HYBRIDANTRIEBE



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

ATZ/MTZ

ATZ/MTZ 专业书籍

康拉德·莱夫 (Konrad Reif)

卡尔·诺来卡特 (Karl E. Noreikat)

凯·伯格斯特 (Kai Borgeest) 编

机动车混合动力系统

原理·组件·系统·应用

北京永利信息技术有限公司 译

陈瑶 审



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

机动车混合动力系统: 原理、组件、系统、应用 / (德) 康拉德·莱夫 (Konrad Reif), (德) 卡尔·诺来卡特 (Karl E. Noreikat), (德) 凯·伯格斯特 (Kai Borgeest) 主编; 邹渊, 陈瑶, 韩维文译. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 3

书名原文: Kraftfahrzeug – Hybridantriebe: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen

ISBN 978 – 7 – 5682 – 3870 – 0

I. ①机… II. ①康…②卡…③凯…④邹…⑤陈…⑥韩… III. ①混合动力汽车 – 动力系统 IV. ①U469. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 065025 号

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01 – 2016 – 0956

Translation from the German language edition:

Kraftfahrzeug-Hybridantriebe

edited by Konrad Reif, Karl E. Noreikat and Kai Borgeest

Copyright © Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden 2012

Springer Vieweg is part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

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](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通州皇家印刷厂

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 18

彩 插 / 4

字 数 / 316 千字

版 次 / 2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

定 价 / 146.00 元

责任编辑 / 梁铜华

文案编辑 / 梁铜华

责任校对 / 王素新

责任印制 / 王美丽



参编人员列表

第1章 引言

Konrad Reif, 博士教授, 巴登符腾堡双元制应用技术大学
Karl. E. Noreikat, 教授, NorCon 科技咨询公司, 埃斯林根
Kai Borgeest, 博士教授, 阿沙芬堡大学

第2章 混合动力驱动系统结构

Siegfried Saenger-Zetina, 博士, 戴姆勒股份公司, 辛德芬根

2.3.3 功率分流式混合动力系统

Markus Wagner, 工程学士, 戴姆勒股份公司, 斯图加特
SiegfriedSaenger-Zetina, 博士, 戴姆勒股份公司, 辛德芬根

第3章 混合动力驱动系统的组件

3.1 内燃机的设计

Andreas Greff, 大陆汽车有限公司, 雷根斯堡

3.1.3 替代驱动系统

Markus Wagner, 工程学士, 戴姆勒股份公司, 斯图加特
Frank Hentschel, 工程硕士, 曾就职于戴姆勒股份公司, 辛德芬根

3.2 电动机

Notker Amann, 博士, 采埃孚股份公司, 腓特烈港
Axel Müller, 博士, 采埃孚股份公司, 腓特烈港
Marcus van Heyden, 采埃孚股份公司, 施韦因富特

3.3 电气和电子系统

3.3.1 汽车电路

Jochen Faßnacht, 工程博士, 罗伯特·博世有限责任公司, 斯图加特
Franz Gretzmeier, 工程硕士 (高等专科学校)
Toni Viscido, 工程博士, DSA – 数据和系统技术有限责任公司, 亚琛

3.3.2 控制单元和通信

Dieter Kraft, 博士, 罗伯特·博世有限责任公司, 斯图加特
Toni Viscido, 工程博士, DSA – 数据和系统技术有限责任公司, 亚琛
Harald Weiler, 博士, 罗伯特·博世有限责任公司, 斯图加特

3.3.3 动力电子设备

Bernd Cebulski, IAV 有限责任公司, 开姆尼茨

3.4.1 ~ 3.4.6

Günter Gutmann, 博士, 电化学蓄能器和转换器的建议和知识传授, 埃斯林根

Otmar Bitsche, 工程硕士, 保时捷股份公司, 斯图加特

3.4.7 液压混合驱动技术和蓄能器

Matthias Beck, 工程博士, 博世力士乐, 埃尔欣根
Christine Ehret, 博士, 博世力士乐, 埃尔欣根
Markus G. Kliffken, 工程博士, 博世力士乐, 埃尔欣根
Robert Stawiarski, 博世力士乐, 埃尔欣根

3.4.8 飞轮

Markus Wagner, 工程硕士, 戴姆勒股份公司, 斯图加特
Frank Hentschel, 工程硕士, 曾就职于戴姆勒股份公司, 辛德芬根

3.5 车辆变速器

Pedro Casals, 工程硕士, 宝马股份公司, 曾就职于采埃孚股份公司

3.6 辅助机组

Dieter Kraft, 博士, 罗伯特·博世有限责任公司, 斯图加特
Roland Norden, 罗伯特·博世有限责任公司, 斯图加特

第4章 运行策略

Jan-Welm Biermann, 工程博士教授, 亚琛工业大学汽车工程研究所
Christian Renner, 工程硕士, 机动车技术研究有限责任公司, 亚琛

第5章 仿真与设计

Thomas Huber, 工程硕士, 罗伯特·博世有限公司, 斯图加特
Sandra Sterzing-Oppel, 博士, 罗伯特·博世有限公司, 斯图加特
Dieter Kraft, 博士, 罗伯特·博世有限公司, 斯图加特



译者序

随着世界各国的环保措施越来越严格，混合动力车辆由于其节能、低排放等特点已成为汽车研究与开发的一个重点，并已经开始商业化。因此，机动车混合动力驱动系统这一专业领域也已经成为机动车技术的重要组成部分。机动车混合动力驱动系统将一个内燃机和一个电动机结合在一起。电动机减轻了内燃机的负担，特别是在需要高于平均水平的燃油消耗量的情况下，例如在起动和加速阶段。随着机动车混合动力驱动系统的发展，采用这种先进的系统已成为必然趋势，但由于其结构复杂，技术不断更新，这对一些从事相关行业的工程技术人员，特别是对于从事机动车混合动力驱动系统研究、设计和制造的相关技术人员或高等院校的师生来说，这是一个较新的领域。我们发现，《机动车混合动力系统：原理、组件、系统、应用》正是一本适用于此的书籍。

本书介绍了机动车混合动力驱动系统的基本原理及结构，详细说明了各种混合动力驱动方案和控制策略以及它们各自的特点和优势。并将重点放在混合动力驱动汽车的重要组件上，例如：电动机、电气和电子系统，尤其是蓄能器。这对于从事机动车混合动力驱动的技术人员和高等院校的师生来说，是一本难得的参考著作。针对这一情况，我们将这本优质的参考书翻译成中文，相信将会给大家的工作和学习带来益处。

本书的出版得到了北京理工大学“985 工程”国际交流与合作专项资金的资助和国家外国专家局“外国文教专家项目”的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于翻译人员水平有限，本书难免存在不当之处，敬请广大读者批评指正，并提出宝贵意见。

译者



前 言

目前，混合动力驱动系统已成为汽车制造商量产的固定组成部分。因此，这一专业领域也已经成为机动车技术教育和培训中所有机动车技术及相关专业必须考虑的重要组成部分。本书适用于大学、职业学校和汽车公司及供应商公司培训部门的教学内容，对于实践中的工程师和专业人士的继续教育来说，可采用课程或自学的形式学习本书的内容。

《机动车混合动力系统》是一本很有助益的技术书籍。它涉及混合动力驱动系统结构和功能方面的所有课题。此外，它还具有牢固基础知识的专业代表性，以及易于理解和切合实用的实际意义。这些都是通过各个章节的多名汽车行业及其供应商和高等教育行业中致力于上述课题的专业人士的编写而得以实现的。

本书的目的是阐述基本原理。为了使读者能够在有限的时间内读完本书，对资料进行了缩减，并设定了本书的重点。这是在两个前提下实现的：一是理解混合动力驱动必不可少的重要课题，如驱动系统的结构；二是始终将重点放在详尽地介绍混合动力驱动车的特定课题上，如电动机、电子设备，尤其是蓄能器。

在进行章节划分时，希望能够通过阅读本书对混合动力驱动系统逐步达到全面的了解。因此，必须合理地将某些相互之间密切相关的课题拆分开。例如：驱动系统结构与传动装置就是紧密相关的，但功率分配用行星齿轮装置是在本书的“驱动结构”章节中讨论的，而传动装置则放在“普通汽车传动装置”章节及“混合动力系统”章节中。同样，有关运行策略的章节是与“仿真和设计”章节紧密相关的。但它们是从不同的角度来说明问题的。运行策略提出的问题是混合动力车如何才能以最佳的方式运行，而仿真和设计提出的问题是如何才能设计出一辆功能最佳的混合动力车。此外，有时还需要预先在某些章节中对一些内容加以简单讨论，如运行策略的部分内容，以说明驱动装置的结构和功能。

本书主要面向想要了解机动车混合动力系统结构、功能、组件和系统的工程专业学生及实际工作中的工程师与专业人士。

我们感谢戴姆勒股份公司，没有它在资金和技术方面的支持，本书不可能以

这种形式呈现给读者。

有 25 位作者为本书的成书作出了贡献，在此对他们予以感谢，他们提供了宝贵的专业知识，特别是在这本书创作的最后阶段。我们还要感谢 N. Amann 博士、J. Biermann 博士教授、S. Engelking 博士教授、理科硕士 F. Gretzmeier 先生和 D. Kraft 博士给予的专业技术支持。

另外，还要感谢 Springer Vieweg 出版社对这本书的推动以及在图书项目立项过程中的卓越合作。

2012 年 10 月于腓特烈港，埃斯林根，阿沙芬堡

康拉德·莱夫 (Konrad Reif)

卡尔·诺来卡特 (Karl E. Noreikat)

凯·伯格斯特 (Kai Borgeest)



目 录

第1章 引言	1
1.1 定义、应用及要求	1
1.1.1 混合动力驱动的优点	1
1.1.2 新技术开发	2
1.2 历史	3
1.2.1 早期的动机	3
1.2.2 环保意识和油价	3
1.2.3 汽车	4
参考文献	5
第2章 混合动力驱动系统结构	6
2.1 组件概览	6
2.1.1 引言	6
2.1.2 能量转换器与能量存储器的组合	7
2.2 混合动力驱动的优点	12
2.2.1 技术优势	13
2.2.2 主观优势	22
2.3 方案和运行方式	22
2.3.1 串联式混合动力驱动系统	23
2.3.2 并联式混合动力系统	26
2.3.3 功率分流式混合动力系统	34
2.4 按功能分类	51
2.4.1 要求	51
2.4.2 起停系统	53
2.4.3 混合动力系统的功能	55
2.4.4 可外部充电的混合动力汽车	56
参考文献	59
第3章 混合动力驱动系统的组件	63
3.1 内燃机的设计	63

3.1.1	汽油发动机	65
3.1.2	柴油机	68
3.1.3	替代驱动系统	71
3.1.4	总结	76
3.2	电动机	77
3.2.1	概览	77
3.2.2	同步电动机	87
3.2.3	异步电动机	99
3.2.4	永磁同步电动机的磁场定向控制	108
3.3	电气和电子系统	115
3.3.1	汽车电路	115
3.3.2	控制单元和通信	131
3.3.3	功率电子设备	139
3.4	蓄能器	147
3.4.1	概述：蓄能器的作用	147
3.4.2	铅酸电池	148
3.4.3	电化学双层电容器	166
3.4.4	镍氢蓄电池	171
3.4.5	锂离子电池	180
3.4.6	电化学存储器在机动车辆中的应用	190
3.4.7	液压混合驱动技术和蓄能器	195
3.4.8	飞轮	201
3.5	车辆变速器	204
3.5.1	原理	204
3.5.2	变速器类型	209
3.5.3	混合动力系统对变速器的影响	220
3.6	辅助机组	224
3.6.1	引言	224
3.6.2	机械驱动和电动驱动	224
3.6.3	各种动力传动系统中的辅助机组的使用	225
3.6.4	混合动力汽车中的总成	228
3.6.5	牵引电网中辅助机组的运行	232
3.6.6	能量管理	232
	参考文献	233
第4章	运行策略	244
4.1	引言	244

4.2 驱动组件	244
4.2.1 内燃机	244
4.2.2 电动机	246
4.2.3 蓄能器	247
4.2.4 辅助机组	247
4.3 运行策略草案	247
4.3.1 基本要求	247
4.3.2 开发流程	254
4.4 应用实例	255
4.4.1 汽车	255
4.4.2 运行策略	256
4.4.3 预测性运行策略	258
参考文献	259
第5章 仿真与设计	261
5.1 建模与仿真	261
5.2 仿真模型的验证	262
5.3 混合动力汽车的优化设计	264
5.3.1 目标确定	264
5.3.2 单个目标的优化	265
5.3.3 多个目标值的优化	266
5.3.4 基于数据的建模	267
5.4 优化设计的结果	268
5.4.1 出发点和目标	269
5.4.2 建模	269
5.4.3 优化	270
5.4.4 混合动力方案的对比	271
5.4.5 结果的验证	272
参考文献	272

第 1 章

引 言

1.1 定义、应用及要求

拉丁语名词“hybrida”表示混合的意思。在杜登大辞典 [Duden09] 中，德语中形容词“hybrid”现在则具有“由不同种类组成的；有两类不同的来源的；混合；雌雄同体”的含义。混合动力车，更准确地说是带有混合动力驱动系统的车辆，指可以将不同形式的能量通过相应的转换器转换成动能用于驱动的车辆。

传统车辆驱动使用的是内燃机，将燃料中以化学键形式存储的绝大部分能源尽可能地转化成热能，然后将大部分热能最大限度地转换成动能。诸如燃气轮机等其他热机也是在类似的能量转换。因此，发动机在现代混合动力车中仍是驱动系统的核心组件，但与传统车辆相比，现代混合动力车至少有一个第二能量转换器的支持。

原则上来说，任何一种能源形式都可以通过一个合适的转换器来支持。实践中，目前混合动力驱动的乘用车、商用车和大巴车都是通过电动机将电能转换成动能的。地面运输车（如叉车）和移动机械在驱动时往往也能够通过一个液压系统来支持内燃机。除电能和液压能量外，还可以通过诸如飞轮中存储的动能或气动蓄能器等非同寻常的形式来支持驱动（参见第 3.4.7 节和 3.4.8 节以及 [Guzzella12, Scuderi12]）。

内燃机与电动机可以以不同的方式进行组合，本书将介绍的三个基本结构（具有几种变型），即串联式混合动力驱动、并联式混合动力驱动和功率分流式混合动力驱动，都各自具有优、缺点。在选择结构时需要优先考虑的问题：是通过混合动力驱动降低能耗，还是提高可用的峰值功率，或由此使驾驶动态和驾乘舒适性得到改善。

1.1.1 混合动力驱动的优点

为什么经过一百多年发展的内燃机仍需要通过另一个蓄能器和能量转换器进行辅助呢？有如下三个原因。

1.1.1.1 混合动力车可减少二氧化碳排放

含碳材料或当今燃料的主要成分（汽油和柴油），即碳氢化合物，在燃烧时

会生成反应产物 CO_2 。通过对反应方程式的定量分析可以计算出每升燃料产生的 CO_2 ，其中柴油为 2.7 kg，汽油为 2.4 kg。如果能大量减少燃油消耗，也就直接降低了 CO_2 的排放。

怀疑是二氧化碳导致了全球变暖（“温室效应”），欧盟也因此为自己设定了二氧化碳减排的宏大目标，作为立法者对未来车辆提出了越来越严格的二氧化碳排放要求。他们规定了各制造商在欧盟所有新许可车辆的平均油耗，长期目标是在 2020 年使二氧化碳平均排放达到 95 g/km。如果超出这一限值，制造商将会受到处罚 [EG09]。除欧盟外也可以看到类似的立法发展。在美国，已经早于欧洲规定了制造商车队的平均油耗（《美国汽车制造商采用的平均油耗标准》Corporate Average Fuel Economy）。尽管限值要求低于欧洲，但在超出时，制造商也会受到惩罚。另外，基于油耗的车辆税或直接收取的石油税也促进了对更低油耗和极低二氧化碳排放车辆的购买需求。

传统车辆中的内燃机必须具有一个较大的功率范围，并且在动态驾驶模式下能快速改变功率输出，内燃机在电能蓄能器（电池）和电动机的支持下可在较窄的转速窗口内以极小的性能要求变化来运行。因此，可以更好地优化内燃机的运行范围，并减轻在油耗特别高的加速阶段中的负载。

1.1.1.2 混合动力车可带来更高的行驶动力和更好的行驶舒适性

第二个能量转换器可以在短时间内提供额外的驱动力矩，并由此提供额外的加速度。特别是对于其额外质量会导致相应较高惯性的重型车辆来说，在无须安装大功率内燃机的情况下，通过混合动力驱动系统可以像轻型车辆一样灵活。

1.1.1.3 混合动力车作为向电动汽车迈进的过渡

通过电动机实现混合动力驱动的第二方面是从最初的内燃机传统车辆通过混合动力驱动系统和可在公共电网充电的“插电式混合动力”逐渐过渡到未来的纯电动汽车，这种连续过渡比突然的技术飞跃更容易被行业和市场把握。

1.1.2 新技术开发

混合动力驱动需要很多新技术开发。传动系统中的附加部件需要更多的空间，并且还会增加车辆的质量。在这方面对电池（蓄能器）具有特别严格的要求。尽管混合动力车的技术相对更复杂，但购买者希望其仍像传统车辆一样可靠。现在已经做到了这一点，但电池也成为要求最高的部件。同样，还必须降低混合动力驱动系统的成本，特别是小型车，需要将其降低到额外成本能够在极低的行驶性能下通过节约能源被摊销的程度。

在混合动力驱动的继续开发中，电池是一个关键的挑战，这也使得原来鲜为人知的电化学成为具有较大政治意义的研究课题。电动机以及控制电动机或电池充电控制和诊断的功率电子设备也有巨大的进步。甚至对发动机也进行了较大力度的开发：一方面，对其在混合动力驱动系统中的应用进行了优化；另一方面，

为了使其保持除经济的混合动力车外具有竞争力的唯一驱动系统的地位。除这些情况外，将会看到对进一步发展混合动力车同样非常重要的许多其他令人关注的领域。

1.2 历史

1.2.1 早期的动机

在 Karl Benz 和 Gottlieb Daimler 发明汽车后的最初三十年，可看到三种不同的驱动方案，即搭载内燃机、蒸汽发动机和电动机的车辆。当时，这三种驱动类型非常昂贵，很少普及，甚至具有明显限制使用性能的缺点。

蒸汽发动机的主要缺点是质量较大且起动时间很长，电池驱动电动车的缺点是其电池较重，而内燃机则需要使用很大的力并且用起动器摇把起动且起动过程不安全。此外，内燃机驱动还缺少合适的起动离合器和耐用的变速器。当时，内燃机在转矩和功率特性方面远不如电动机。

Ferdinand Porsche 在 1900 年左右采用轮毂电动机制造出了高性能的电动赛车。这种车在比赛中取得了成功，但它需要的电池质量达 1 800 kg。现在，内燃机和电动机的组合需要克服两个驱动系统的严重缺点：质量较大的电池和经常出问题的起动离合器。因此，Porsche 于 1902 年和维也纳汽车制造商 Lohner 一起制造了称为“Mixte”的混合动力驱动系统。“Mixte”也是当时电池电力驱动和内燃机驱动车辆之间相互竞争的标志。

在随后的几年中，高性能的内燃机、耐用的起动离合器和功率强大的变速器的开发使得内燃机逐步被大家所接受。此外，Henry Ford 在 1902 年开始大规模生产低成本的内燃机车辆，使得机动车广泛普及。当 1920 年引入电动起动器后，电动车和混合动力车辆明显受到了冷落。1920—1965 年，混合动力车领域没有任何值得一提的发展。

1.2.2 环保意识和油价

从 1965 年开始，因为油价上涨，所有替代驱动系统都变得越来越重要。在此后的三十年，人们开始致力于燃气涡轮机、斯特林发动机、汪克尔发动机、氢发动机、电动机等其他驱动系统，其中也包括混合动力驱动系统。通过这些替代驱动系统已经制造了一系列的原型车，但数量非常少。小批量的纯电动汽车只制造了几百辆。

发展替代驱动系统的动机是越来越严格的法定油耗和排放限值，而这也正是开发混合动力驱动系统的动机。通过这些限值也确定了在未来更适用的驱动技术。除改进传统内燃机之外，汽车行业开始致力于开发电动驱动系统、燃料电

池，特别是混合动力驱动系统。

混合动力的吸引力还在于目前的国际市场环境。这里首先提到的是欧洲、日本和美国，这三个“巨头”的试验条件和限值促进了混合动力驱动系统的发展，其所用的相关测试循环、限值和环境政策都是一致的。从日益严格的法律来综合考虑也可以得出明显的趋势。此外，政府对这些驱动系统发展、购买和使用的要求也加强了驱动系统“电气化”的发展趋势。以多种形式驱动的混合动力驱动系统是一种变型驱动系统，其可能会长期保持极成功的态势。混合动力驱动示范性地结合了内燃机和电动机各自的优点。

国家特有的边界条件对混合动力驱动系统的特性有着很大的影响。在一般情况下，典型的日本城市循环会按照它的要求将所需最大速度、加速度、制动性能、怠速时间等分类为“混合动力驱动友好的”一级。从逻辑上讲，Toyota Prius 于 1997 年就已经作为量产车进入了日本市场。

混合动力驱动系统通过以下几个方面改善了内燃机的使用：

(1) 再生制动：在车辆的常规制动过程中，机械制动装置会将车辆的动能转化为热能。在再生制动中则与此不同，动能被电动机转化为电能存储在电池中，以再次用于驱动车辆。

(2) 改善内燃机的平均效率：内燃机在许多驾驶状况下仍具有尚未利用的潜力。通过将负载点向更高的效率推移可以产生可被临时存储的额外能量，然后同样可将其再次用于车辆的驱动。

(3) 避免怠速损失：当车辆静止时，除辅助设备的功率要求之外，驱动功率为 0。内燃机在怠速下仍需要消耗燃料，以提高自身的摩擦功率。这种怠速消耗可通过起停系统加以避免。

通过这三种潜力可提高各种行驶循环中的平均效率，从而将燃油消耗和二氧化碳排放改善至 25%。

混合动力驱动系统适用于各种乘用车细分市场。混合动力是一种与车辆尺寸无关的“附加能源利用”。除适于所有乘用车细分市场之外，混合动力驱动技术在城市公交车和货物配送车辆中的应用 also 具有很大的优势。

1.2.3 汽车

自 1985 年以来，丰田 (Toyota)、奔驰 (Mercedes)、大众 (Volkswagen)、奥迪 (Audi)、通用 (GM)、福特 (Ford) 和克莱斯勒 (Chrysler) 汽车公司研究开发出各种混合动力驱动方案，并建造了试验台。值得注意的是大众汽车的车队测试，其在苏黎世投入 20 辆并联式混合动力车用于日常行驶。Toyota Prius 自 1997 年以来已经批量生产，现已发展到了第三代。从推出到 2011 年年底销售了约 230 万辆。现在正在对插电式混合动力汽车 Prius 进行车队测试。自 1999 年以来，本田 (Honda) 汽车公司开始销售 Honda Insight。自从 2009 年夏天起，Mer-

cedes S 400 开始上市，它是第一辆使用锂离子电池的混合动力车。与此同时，几乎所有的知名汽车公司都开始生产一种或多种混合动力车。

在商用车领域，一批混合动力城市公交车已成功投入使用，在市场上也能够买到混合动力驱动的商用车。除自给自足的混合动力车之外，插电式混合动力车和行程扩展型车辆也不断进入市场。GM Volt 和与其结构相同的 Opel Ampera 就是这方面的例子。

参考文献

[Duden09] Duden 01. Die Deutsche Rechtschreibung: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus, 25. Aufl. , 2009.

[EG09] Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂ – Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen.

[Guzzella12] Guzzella L. : Hybrid Pneumatic Engine. [http: //www. idsc. ethz. ch/Research_ Guzzella](http://www.idsc.ethz.ch/Research_Guzzella). Zugegriffen: 25 – 03 – 2012.

[Scuderi12] Scuderi Group: Air-Hybrid-System. [http: //www. scuderiengine. com/the-scuderi-air-hybrid-system](http://www.scuderiengine.com/the-scuderi-air-hybrid-system). Zugegriffen: 25 – 03 – 2012.

第 2 章

混合动力驱动系统结构

2.1 组件概览

2.1.1 引言

根据 IEC/TC69（国际电工委员会/技术委员会 69）[IEC69] 中的规定，混合动力驱动系统至少应具有两个不同的（汽车本身的）能量转换器和两个不同的用于牵引的能量源。ECE - R83 中描述了混合动力汽车的另一个定义：“一台至少具有用于驱动车辆 [ECE - R83] 的两个不同（汽车本身的）能量转换器和两个不同（车辆本身的）能量源的车辆。” SAE（汽车工程师学会）[J1715] 则将其定义为：“一台混合动力汽车带有两个或多个能够选择共同或单独驱动车辆的能量源及其所属的能量转换器。”

许多混合动力汽车仍以内燃机为主要驱动系统。此外，有一个或多个电动机用于将电池中存储的能量转换成动能。在车辆制动时，使用电动机将车辆的一部分动能用于电池充电（“制动能量回收”，再生）。所产生的多余能量尽可能用于对电池进行充电。在加速时，内燃机和电动机一起工作。转速和转矩转换器用作内燃机与电动机连接的元件。图 2.1 为内燃机 - 电动机混合动力驱动系统结构。图中同时标示出了可在电力网上充电的外部充电器。

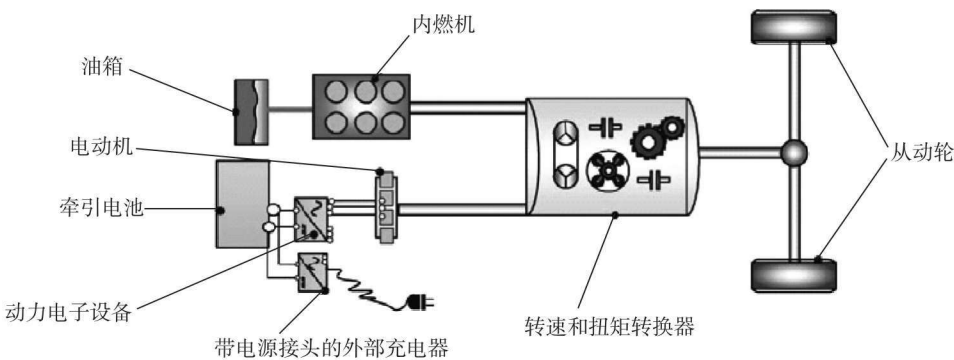


图 2.1 内燃机 - 电动机混合动力驱动系统结构