



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



动力总成的电气化策略

[德] 亨宁·瓦伦托维兹(Henning Wallentowitz) 著
[德] 爱恩特·弗雷尔登霍温(Arndt Freialdenhoven)

北京永利信息技术有限公司 译
陈 瑶 审

STRATEGIEN ZUR
ELEKTRIFIZIERUNG DES ANTRIEBSSTRANGES

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



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



动力总成的电气化策略

[德] 亨宁·瓦伦托维兹(Henning Wallentowitz)
[德] 爱恩特·弗雷尔登霍温(Arndt Freialdenhoven)

著

北京永利信息技术有限公司
陈瑶

译
审

STRATEGIEN ZUR
ELEKTRIKISATION DES ANTRIEBSSTRANGES

图书在版编目 (CIP) 数据

动力总成的电气化策略 / (德) 瓦伦托维兹 (Wallentowitz, H.), (德) 弗雷尔登霍温 (Freialdenhoven, A.) 著; 北京永利信息技术有限公司译.
—北京: 北京理工大学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5682-1445-2

I. ①动… II. ①瓦… ②弗… ③北… III. ①动力总成-电气化
IV. ①U463. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 258581 号

北京市版权局著作权合同登记号 图号: 01-2012-7037

Translation from German language edition:

Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges

by Henning Wallentowitz, Arndt Freialdenhoven

Copyright © Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Springer Fachmedien 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>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 226 千字

版 次 / 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 56.00 元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

译者序

在过去的几十年中，汽车技术发展迅速。在汽车的研发过程中涌现出了许多新技术。各汽车企业都需要在研发上付出更多的努力才能适应汽车行业快速发展的步伐。电动汽车技术就是其中一项非常重要的技术，通过该项技术，可实现零燃油零排放的环保目标。本书重点涉及的动力总成电气化策略是电动汽车采用的一项关键技术。

因此，在这里向读者推荐这本《动力总成的电气化策略》。它以紧凑的内容、便于理解和紧密结合实践的形式，为广大读者提供了动力总成的电气化策略方面的重要知识。这本书由德国 Vieweg+Teubner 出版社出版，由 Henning Wallentowitz 和 Arndt Freialdenhoven 主编。本书主要介绍了电动汽车在技术、经济和战略方面的现状，并对动力总成电气化方面的相关驱动技术进行了详述。本书根据不同车辆类别，对诸如电动机、控制系统和蓄电池等关键技术进行了详细说明。此外，本书还从成本的角度对相关系统进行了评估。其内容正是很多读者所关心的新课题。相信本书必然会成为国内汽车制造行业技术人员以及高校汽车相关专业学者了解和掌握动力总成的电气化策略以及审视未来相关技术发展所不可或缺的工具。

本书由北京永利信息技术有限公司的译员翻译，由该公司的资深译审

陈瑶进行审校。在此感谢北京理工大学出版社在翻译本书的过程中所给予的帮助。译、校者虽在译文、专业内容、名词术语等方面进行了反复斟酌，并向有关专业人员请教，但限于译、校者的水平与对新知识的理解程度，谬误和不当之处恳请读者批评、指正。

北京永利信息技术有限公司翻译中心

2015年8月

前 言

本书是针对希望详细讨论电动汽车以及深入了解电动汽车技术和经济各方面相关内容的读者编制的。

在严格的法律规定和原油储备短缺的推动下，20 世纪 90 年代研发出了第一台原型车，甚至开始小批量生产纯电池驱动电动汽车，但由于成本原因以及储能方面的一些不足很快就搁置了。由于锂离子电池的出现以及最近几年越来越严格的法律法规，汽车制造商和供应商再次增强了开发以电池为动力的电动汽车市场的努力。随着加利福尼亚州跑车制造商成功地将 Tesla Roadster 推入市场，许多老牌汽车制造商也宣布将在未来几年将其生产的电池动力汽车投入市场。

在此背景下，本书主要介绍了电动汽车在技术、经济和战略方面的现状。针对混合动力和纯电动汽车的日益增加，对动力总成电气化方面的相关驱动技术基础进行了详细阐述，并展示了目前所讨论的优化传统内燃机的汽车开发解决方案以及不同混合动力车型和纯电动汽车的相应功能和技术。

在不同车辆类别的基础上，本书对诸如电动机、控制系统和蓄电池等与电动汽车相关的关键技术进行了详细说明，并在考虑到典型驾驶循环的情况下对车辆尺寸进行了划分。此外，还在成本方面对电动机的最主要的组成部分进行了权衡，并对相关系统进行了评估。

最后，本书还阐述了动力总成的电气化策略对于汽车行业的意义，说明了汽车制造商和供应商在向电池驱动车辆转型时如何为此所需的生产能力进行再分配，并给出了各种可能的合作方式。同样还分析了引入电动汽车后可能会建立的新商业模式。

在此，笔者要感谢亚琛车辆工程研究会的 Ingo Olschewski 先生（工商硕士），感谢他在创作这本书的第一版中所发挥的重要作用，另外还要感谢负责出版第二版的 Felix Wallentowitz 先生（硕士）。

[德] 亨宁·瓦伦托维兹（Henning Wallentowitz）

[德] 爱恩特·弗雷尔登霍温（Arndt Freialdenhoven）

2011 年 4 月

于德国英戈尔斯塔特/不伦瑞克

目 录

1 引言	1
2 革新的驱动力	5
2.1 立法机构	6
2.1.1 全球性环境污染	6
2.1.2 局部环境的影响	15
2.2 客户的要求	25
2.3 资源可用性	27
2.3.1 原料市场	27
2.3.2 石油资源	28
2.3.3 石油开采	29
2.3.4 石油需求	30
2.3.5 原油价格	32
2.3.6 原油可用性的政治因素	34
2.4 结论	37
3 动力总成电气化的日益增加	39
3.1 传统内燃机的优化	40
3.1.1 油耗的优化	41
3.1.2 废气排放的减少	55
3.1.3 中期总结	59

3.2 混合动力驱动	59
3.2.1 微混合动力	61
3.2.2 轻度混合动力	63
3.2.3 全混合动力	65
3.2.4 插电式混合动力	71
3.3 电动汽车	72
3.3.1 电池驱动的电动汽车	72
3.3.2 燃料电池驱动的电动汽车	76
3.4 驱动系统的市场意义及评价	84
3.5 总结	90
4 电动汽车的关键技术及其规格	93
4.1 所需的关键技术	93
4.1.1 作为能量转换器的电动机	93
4.1.2 所需关键技术的概述	103
4.1.3 电池作为能量存储装置	105
4.1.4 电池充电技术	116
4.2 关键组件的规格	120
4.2.1 行驶阻力	121
4.2.2 总阻力	125
4.2.3 涉及的汽车等级	128
4.2.4 相关的行驶循环	128
4.2.5 电动机及其控制单元的设计	130
4.2.6 电池的设计	134
4.3 总结	137
5 驱动技术的成本分析	139
5.1 电动汽车的开发过程	140
5.2 关键组件的成本趋势	142
5.2.1 驱动系统组件	142
5.2.2 蓄能器——电池	149
5.3 各种驱动系统的成本模型	154
5.4 成本发展趋势总结	157
6 电气化对汽车行业的意义	159
6.1 汽车零部件变化概览	159

6.1.1 整车的变化·····	160
6.1.2 被取消组件的概览·····	161
6.1.3 新组件概览·····	164
6.1.4 电气化对汽车零部件供货商的影响·····	171
6.1.5 汽车制造商的核心竞争力与差异化特性·····	175
6.2 电动传动系领域中的合作·····	177
6.2.1 合作模式的基础·····	177
6.2.2 合作的机遇与风险·····	178
6.2.3 电动汽车领域的合作示例·····	178
6.3 电动汽车的商业模式·····	182
6.3.1 商业模式的定义·····	183
6.3.2 “车辆购置”商业模式·····	183
6.3.3 “汽车租赁”商业模式·····	184
6.3.4 “电池租赁”商业模式·····	185
6.3.5 “汽车共用”商业模式·····	186
6.3.6 “Better Place”商业模式·····	187
6.3.7 对各种商业模式的评估·····	188
6.4 总结·····	189
7 总结·····	191
参考文献·····	195

1

引言

国民经济生产总值（GDP）与相应产生的运输服务基本上是成正比的。因此，成功的企业需要一个高效运转的运输体系。此外，经济发达国家还有较为密集的个体交通，而个体交通又可分为工作所需的交通和休闲所产生的交通。这些交通主要是由配备内燃机动力的乘用车所形成的。因此可以说，这种流动性直接依赖于石油，尽管几十年来人们始终认为地球上的石油储量只够人类开采 40 年，石油正变得越来越稀缺。因此，几年前，人们已经开始寻找其替代品，或开发可供市场销售的此类产品。由电池驱动或者由燃料电池提供动力的动力总成电气化成为当前的候选项之一。几乎世界上所有汽车制造商和供应商都在致力于这项电气化工作。这将对现有的驱动技术产生了巨大影响。

从开始使用发动机产生机动性起，电动汽车和内燃机动力汽车之间始终存在着竞争。燃气发动机仅被用于固定不动的机器。由于其能量在燃料箱中具有良好的存储性，因此内燃机被广泛使用。特别是在过去的 25 年里，人们已经通过催化转化器和过滤器解决了有毒排放（CO、NO_x、CH 和颗粒）的缺点。油耗明显降低，相应的，二氧化碳排放量也降低。然而，由于二氧化碳对气候的影响，社会上盛行着必须进一步降低二氧化碳排放量的舆论。专家认为，通过引进电动车可以实现这一目标。本地零排放也将无可争辩。然而，用于驱动车辆的电力或氢的初级能源的来源至今

仍不清楚。

事实上，开发其他能源的这些努力还有另一个原因，那就是不断增长的石油需求只能由少数产油国来满足，而这些国家在政治上往往又不是很稳定。常规燃料价格的上涨，日益严格的排放法规立法以及不利于车辆成本结构和环境的可持续性的不断增长的客户需求等边界条件都会明显影响市场的趋势。目前，这些变化已促使汽车环境发生深刻的变革。

在1973年和1979年，由削减石油产量所引发的两次石油危机使西方工业国家意识到，它们是多么依赖于这些有限的原油。这两次事件的直接反应不仅是迅速上涨的燃油价格，有些国家甚至为了降低油耗还做出了施行无车日的规定。而如今把周日定为无车日的话题又被重新提起，甚至一些城市已经宣布重新执行这项规定。

为了达到改善市区的空气质量，尤其是全球各大城市的空气质量的目的，近年来，立法机构一直在不断严格规范，并不断推出更加严格的排放法规。例如，伦敦市中心的一个区就提出了收取所谓“交通拥堵费”的规定，其规定只有环保型汽车才可以免交此费用。而德国正在试图通过环境区来减少选定人口中心的微粒污染。然而，这些方法并非在所有地方都行之有效。

这些在技术上和科学上并不总是合理的行动没能促成对内燃机的有效讨论。在未来的几十年里，内燃机仍将是主要的驱动源。但上述所有具有政治动机的行动已经引发了大量重新开发电动车的行动。目前，这项紧张研究的另一个驱动因素还有中国和日本所采取的措施，这些措施包括在电动汽车领域中达到技术领先的水平。然而，我们的讨论往往会忽视这些国家中的其他运输基础设施。在德国或者整个欧洲，长短途车辆都是一样的，而在亚洲的一些大都市中，很长时间以来一直将小型汽车用于短途运输（此外还有停车位紧张的原因），而电动汽车尤其适用于这种情况。

对欧洲来说，与现有内燃机相结合，共同为车辆提供动力似乎是一种切实可行的解决方案。通过为内燃机增加一个或多个电动机，可实现不同的混合动力策略。这样可使驱动能量所需的电池相对小一些，以保持较低的成本并能够在部分情况下实现无排放运行。在长途运输时，发动机仍然是主要驱动动力源。其竞争对手可能就是由存储氢气的燃料电池所驱动的汽车（这很可能是可预见的最适宜的能量载体了），从目前的研究状态来看，其比电池驱动车辆具有更大的行程范围。

在任何情况下，电力牵引都将会是未来交通舞台上的主角。而近几年由诸如锂离子等电池所带来的巨大进展也将大大推动这一发展趋势。至少这些电池明显增加了目前引入电动汽车、燃料电池汽车和混合动力汽车的机会。

2

革新的驱动力

新型动力传动系统的发展主要受到三个因素的影响，而这三个因素也构成了企业的框架条件，如图 2-1 所示。第一个影响因素是立法机构，其可以通过设置法规直接影响汽车制造商的研究和开发力度。革新的第二个主要影响因素是客户，他们通过不断改变其行为及多方面的需求不断地对车辆提出新的要求。有限的资源构成了第三个主要诱因，而这也决定了新型动力传动系统的发展方向。

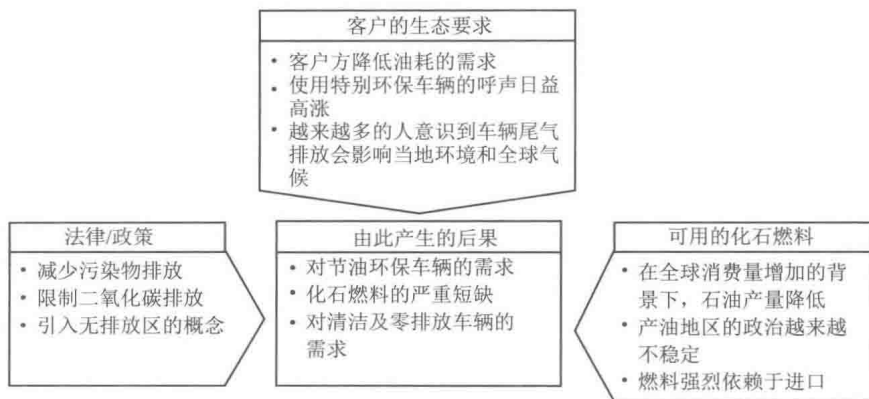


图 2-1 动力总成更具多样化和电气化的驱动因素^[FRE09]

2.1 立法机构

很长时间以来，立法机构就一直在努力试图引入零排放车辆。在 20 世纪 90 年代，美国的 13 个州就颁布了一项法律，按照这项法律的要求，1998 年所销售的车辆当中至少应有 3% 是“零排放”车辆。2003 年起，这个数字应达到 5%。但是，由于当时没有可供使用的电池，因此立法者的这些想法落了空。现在，立法机构正在做出新的尝试，想要通过更好的生态可用性来实现这些目标^[MCK06, RBC08]。而这需要有全局和局部的解决思路，而不是仅从大自然的角度来看待这一问题。

2.1.1 全球性环境污染

目前，全社会对所观测到的全球变暖的确切原因还存在着很大争议。一些科学家仍持有目前的气候变化是自然气候波动的观点，认为正是这种原因导致了早期的冰川期和欧洲的干旱期。但是，气候研究人员指出，大气中二氧化碳的含量增加了，而这种气体会导致温室效应^[IPC07]。这种效应可使不同波长的电磁辐射对气体具有不同的穿透性。短波辐射比长波辐射更容易穿透这些温室气体。具体到大气层，这也意味着短波长的入射太阳辐射相对更容易穿透大气中的气体，但地球反射的长波辐射则具有相对较低的穿透性。长波辐射被地球大气层大量吸收，并由此释放热能，如图 2-2 所示。如果大气中的气体成分发生改变，就会影响到通过吸附而释放的热能，从而进一步影响地球的热平衡。

因为释放二氧化碳（CO₂）的量很大，因此其已成为继水蒸气之后的第二种温室气体，所以在此进行重点讨论非常有意义^[PIS05]。研究表明，自工业化以来，地球上的 CO₂ 浓度在持续增加，如图 2-3 所示。由此所得出的结论是人类的活动明显加剧了这一发展，毕竟人类对土壤中的碳进行了过度的开采^[IPC07]。但是，这仍不能解释地球早期 CO₂ 浓度增加的原因，这个问题是在测量南极冰层时被发现的。这显然不是人类的活动所造成的。

现在，气候科学家认为，在 CO₂ 排放总量中，这些人为部分与自然所产生的部分未达到平衡，从而对全球气候产生了较大的影响。

在工业时代初期，空气中 CO₂ 的体积百分含量为 278 ppm。多年来，

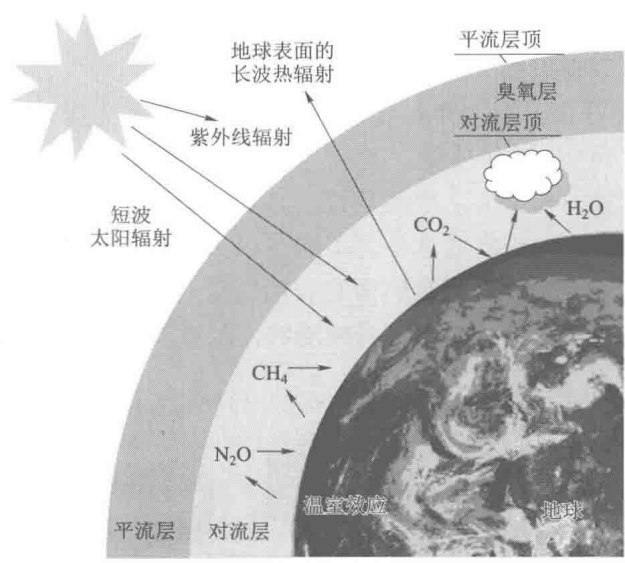


图 2-2 温室效应^[BHK09]

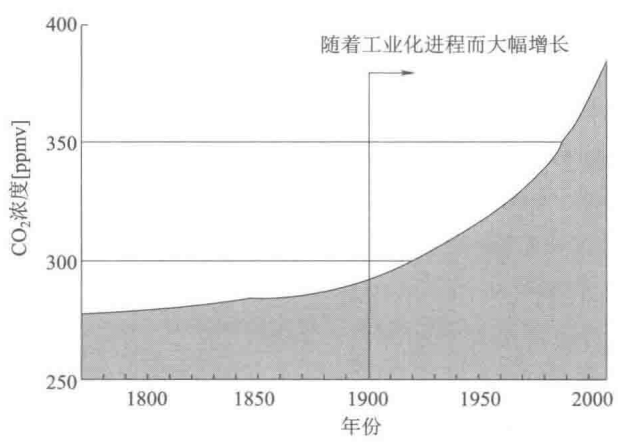


图 2-3 空气中 CO₂ 浓度的发展^[NOA09]

这一数值呈指数倍增加，2008 年，已达到 385 ppm^[NOA09]。其增长率达 38%，其增长梯度非常令人担忧。但总体而言，有许多问题还有待解决，至少人类的活动并不是气候变化的唯一原因。