

新能源汽车 关键技术研究

李敬福 王洪佩 著 ■



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

新能源汽车关键技术研究

李敬福 王洪佩 著

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

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

新能源汽车关键技术研究/李敬福,王洪佩著. —北京:北京理工大学出版社, 2017. 12

ISBN 978 - 7 - 5682 - 5043 - 6

I. ①新… II. ①李… ②王… III. ①新能源 - 汽车 - 研究
IV. ①U469. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 304168 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 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 12.75

字 数 / 240 千字

版 次 / 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 65.00 元

责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 赵 岩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李 洋

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

随着世界能源危机和环保问题的日益突出,汽车工业面临着严峻的挑战。一方面,石油资源短缺,汽车是油耗大户,且目前内燃机的热效率较低,日益增长的汽车保有量加剧了这一矛盾;另一方面,汽车的大量使用加剧了环境污染,城市大气中污染性气体及微粒来自汽车尾气。此外,汽车噪声也是城市噪声污染的主要来源之一。面对这些现实问题,各国政府及产业界积极应对,纷纷提出各自的发展战略。新能源汽车成为 21 世纪汽车工业的发展热点。

2015 年国务院发布《中国制造 2025》,其中新能源汽车的发展被提升至国家战略层面,这既关乎整个国家能源、环境等方面的战略布局,也对汽车行业未来的发展方向提出了全新的要求。新能源汽车有别于传统能源汽车,它已经超越于传统能源,包括纯电动汽车、燃料电池汽车、混合动力汽车和氢能源动力汽车等。

本书系统地阐述了新能源汽车的关键技术,内容共包含 7 章,主要包括绪论、新能源汽车行驶的基本原理、新能源汽车的行驶工况、新能源汽车车载电源系统、新能源汽车电力驱动系统、新能源汽车辅助系统、新能源汽车充电技术等部分。本书符合人们对汽车的归类或叙述习惯,系统地将新能源汽车从整体到局部,尤其是核心技术进行具体介绍。本书适用于高等院校汽车相关专业的学生作为参考用书,也可以供从事汽车行业的相关技能人员使用。

本书由山东理工职业学院李敬福、王洪佩著,其中第 1~5 章由李敬福著,第 6、7 章由王洪佩著,全书由李敬福统稿。在本书的著作过程中查阅了大量的书籍、文献和网上资料,引用了一些网上资料和参考文献中的部分内容,在此特向其作者表示深切的谢意。

由于时间仓促,书中难免会有疏漏之处,希望读者予以谅解并指正,一并表示感谢。

著 者

2017 年 9 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 新能源汽车的分类与特点	1
1.2 新能源汽车的特点	6
1.3 传统燃料汽车带来的问题	8
1.3.1 能源问题	8
1.3.2 环境问题	9
1.4 世界范围的新能源汽车研发计划	9
1.5 新能源汽车技术的发展现状及趋势	11
第2章 新能源汽车行驶的基本原理	14
2.1 概述	14
2.2 车辆的动力性能	16
2.2.1 最高车速	16
2.2.2 爬坡性能	17
2.2.3 加速性能	18
2.3 车辆的经济性能	19
2.3.1 非工况条件下车辆的经济性计算	19
2.3.2 基于工况的车辆经济性	21
2.4 车辆的制动性能及再生制动能量回收	21
2.5 新能源汽车动力传动系统参数的选择	21
2.5.1 驱动电动机参数的选择	22
2.5.2 传动系速比的选择	24
2.5.3 新能源汽车动力电池组容量的选择	25
第3章 新能源汽车的行驶工况	27
3.1 概述	27
3.2 国外车辆行驶工况	28



3.2.1	美国行驶工况	28
3.2.2	欧洲行驶工况	33
3.2.3	日本行驶工况	34
3.3	行驶工况的特征	35
3.4	车辆行驶工况的开发方法	37
3.4.1	试验规划	37
3.4.2	数据采集	38
3.4.3	工况构建方法	39
3.4.4	数据分析及处理	41
3.4.5	工况验证	41
第4章	新能源汽车车载电源系统	43
4.1	概述	43
4.1.1	车载电源系统组成	43
4.1.2	动力电池系统工作原理	45
4.2	蓄电池电源	46
4.2.1	铅酸蓄电池	46
4.2.2	锂离子电池	51
4.2.3	镍—氢电池	55
4.2.4	动力电池一致性	58
4.3	动力电池管理系统	61
4.3.1	数据采集方法	61
4.3.2	电量管理系统	66
4.3.3	均衡管理系统	68
4.3.4	热管理系统	80
4.3.5	数据通信系统	82
4.3.6	电池管理系统的故障诊断与分析	84
4.4	动力电池系统设计	87
4.4.1	新能源汽车能耗经济性评价参数	87
4.4.2	电池系统与整车的匹配方法	90
4.4.3	电池包结构与设计	95
4.4.4	动力电池的梯次利用与回收	99
第5章	新能源汽车电力驱动系统	101
5.1	整车控制器	101



5.1.1 整车控制器控制系统结构	102
5.1.2 整车控制器功能说明	103
5.1.3 CAN 通信网络	104
5.2 电动机控制器	107
5.3 电动机及其控制	107
5.3.1 直流电动机及其驱动控制系统	108
5.3.2 交流感应电动机及其驱动系统	119
5.3.3 永磁同步电动机及其驱动系统	126
5.3.4 开关磁阻电动机及其驱动系统	135
5.4 电能变换器	139
5.4.1 DC/DC 电能变换器	139
5.4.2 DC/AC 电能变换器	141
5.4.3 AC/DC 电能变换器	141
5.4.4 电能变换器的发展方向	142
5.5 机械传动装置	142
第6章 新能源汽车辅助系统	144
6.1 新能源汽车空调系统	144
6.1.1 新能源汽车空调与传统汽车空调的区别	144
6.1.2 电动压缩机制冷与电加热器制热混合调节空调系统	146
6.1.3 热泵型新能源汽车空调系统	147
6.2 新能源汽车转向系统	149
6.2.1 电动助力转向系统的结构和原理	149
6.2.2 电动线控转向系统的结构和工作原理	155
6.3 新能源汽车制动系统	157
6.3.1 电动真空助力制动系统	157
6.3.2 电动机再生制动	159
6.4 新能源汽车冷却系统	161
6.4.1 动力电池冷却方案	162
6.4.2 电动机冷却系统方案	162
第7章 新能源汽车充电技术	164
7.1 概述	164
7.1.1 新能源汽车对充电设备的要求	164
7.1.2 新能源汽车充电设备的类型	165



7.1.3	新能源汽车充电方法	167
7.1.4	新能源汽车充电方式	171
7.1.5	新能源汽车充电技术的发展趋势	175
7.2	充电动机	177
7.2.1	充电动机的类型及性能要求	177
7.2.2	新能源汽车车载充电动机	179
7.2.3	新能源汽车非车载充电动机	184
7.3	充电站	189
7.3.1	充电站主要功能与布局	189
7.3.2	充电站建设形式	191
7.3.3	典型新能源汽车充电站	192
7.3.4	新能源汽车光伏充电站	193

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

随着人口的增加及生活质量的不断提高，汽车保有量随之不断增长，而且从目前的发展趋势看来，汽车需求量会不断增加。传统燃油汽车是以汽油、柴油为主要能源，但从世界范围看，以石油为典型代表的能源危机日益凸显，在 20 世纪 20 年代有人预测全世界石油还能利用 100 年，而到 1970 年石油可开采年数月减少到 40 年。因此，开发出可以代替石油且能够满足需要的新能源，减少对石油的依赖，增加燃油消耗少的节能车数量，成为各国当前迫在眉睫的任务。并且大气污染以及二氧化碳排放问题日益严重，导致这些问题的主要原因——汽车尾气排放越来越受到人民的关注，并成为亟须解决的问题。但目前传统汽车技术还无法改变这些现状，若要摆脱对石油能源的依赖，减轻大气污染，改变传统汽车的不足，发展新能源汽车是必由之路。与传统汽车相比，新能源汽车是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等方面的先进技术，具有新技术、新结构的汽车。

1.1.1 新能源汽车的分类与特点

按照动力源的不同，新能源汽车主要分为纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车三大类。纯电动汽车与传统内燃机汽车的最大区别是动力系统的差别，纯电动汽车的动力系统主要由动力电池组、驱动的电动机及其控制系统等组成，能够实现车辆减速制动时的能量回收。混合动力汽车主要指利用发动机与电动机的组合作为动力能源的汽车，其突出优点是发动机工作在经济工况区，排放低，燃油消耗量少，同时可以回收车辆减速制动时的能量；混合动力汽车被认为是当代汽车工业为保护大气环境及资源利用而采取的重大举措。近年来在国外取得了长足的发展，是当前最具产业化的新能源汽车。燃料电池汽车的动力系统主要由燃料系统、空气供给系统、燃料电池组、整车动力总成控制系统，驱动电动机及其控制系统、DC/DC 变换器和蓄电池等组成；由于采用燃料电池作为动力源，可



以实现完全的零污染零排放，被认为是最具发展前景的新能源汽车。

1.1.1.1 纯电动汽车

纯电动汽车，又称为蓄电池电动汽车、二次电池电动汽车，是以蓄电池作为主要能量来源或附加一种储能器的电动汽车，其结构形式如图 1-1 所示。

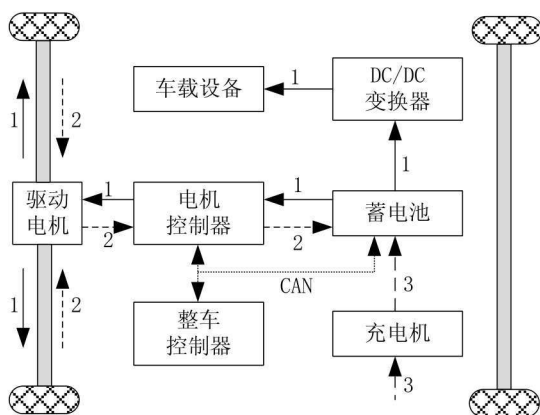


图 1-1 纯电动汽车结构形式

图 1-1 中，模式 1 为电动运行，由蓄电池输出电能，通过电动机控制器进行电能变换，控制驱动电动机运行，通过减速或变速装置将动力传输给车轮，驱动车辆运行；模式 2 为制动运行，当车辆减速或制动时，由电动机控制器控制驱动电动机运行于发电状态，将车轮动能转换为电能存储于蓄电池；模式 3 为外接充电模式，由车载充电电动机接入外部电源向蓄电池充电。对于电动汽车的控制，由整车控制器通过 CAN 总线，协调蓄电池和电动机控制器的能量分配和车辆的运行控制，控制指令来自于加速踏板、制动踏板、方向盘和档位等信号。

纯电动汽车的优点主要包括以下几个方面：

- ① 零排放、无污染、低噪声。
- ② 结构简单，使用维修方便。
- ③ 直接采用电动机驱动，能量转换效率高；同时可以回收制动能量，提高了能量的利用效率。
- ④ 动力电池可以利用夜间进行充电，对电网能起到“削峰填谷”的作用。

1.1.1.2 混合动力汽车

混合动力汽车，又称为复合动力汽车，是由传统发动机与一种或一种以上的储能器作为动力源，且至少有一种储能器能够提供电能的车辆。



按照动力系统能量流和功率流的配置结构关系,混合动力汽车分为串联、并联和混联三种主要结构形式。按照两种不同能量的搭配比例不同,混合动力汽车又可以分为轻度混合动力、中度混合动力、重度混合动力和插电式混合动力四种类型。其中重度混合动力的代表车型有丰田普锐斯(Prius)等,插电式混合动力的代表车型有雪佛兰沃蓝达(Volt)等。

混合动力汽车的主要特点主要包括:

- ① 可采用小排量的发动机,降低了燃油消耗。
- ② 通过控制策略优化,使发动机经常工作在高效低排放区,提高了能量转换效率,降低了排放。
- ③ 将制动能量回收到蓄电池中再次利用,降低了燃油消耗。
- ④ 某些混合动力汽车在市区可关停发动机,由电动机单独驱动,实现零排放。
- ⑤ 电动机和发动机联合驱动,提高了车辆的动力性能。
- ⑥ 利用现有的加油设施,具有与传统燃油汽车相同的续驶里程。

1. 串联式混合动力汽车

对于串联式混合动力汽车,发动机驱动发电电动机,电动机使用发电电动机的电能驱动车轮,因为功率是以串联的方式流向驱动车轮,故称为串联式混合动力汽车,如图1-2所示。由于发动机的功率和电动机的功率是串联结构,发动机不直接将动力传输至车轮,而是通过驱动发电电动机以电能耦合的形式提供动力。串联式混合动力系统可以使用小功率输出的发动机,并且使其在相对稳定的高效率工作区间内工作,从而产生和提供电能给电动机,同时给蓄电池充电,因此串联式混合动力汽车又称为里程延长式混合动力汽车。

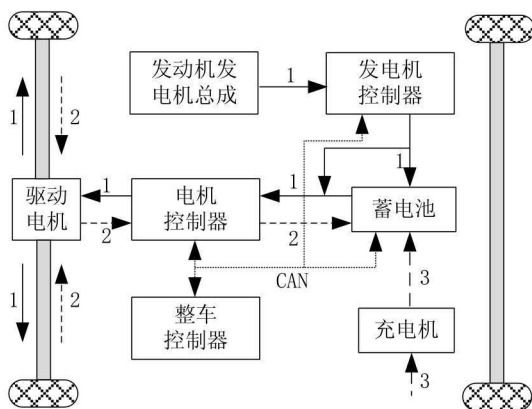


图 1-2 串联式混合动力汽车结构形式



图 1-2 中, 模式 1 为发动机发电机组通过发电机控制器向蓄电池充电, 同时可以直接供给电动机控制器, 控制电动机驱动车辆运行。模式 2 为制动运行; 模式 3 为停车充电。

2. 并联式混合动力汽车

在并联式混合动力系统中, 发动机和电动机都可以驱动车轮, 车辆根据行驶工况来选择功率输出方式, 如图 1-3 所示。因为功率是并联输出到车轮, 因此称为并联式混合动力系统。在这种系统中, 蓄电池充电是通过转换电动机为发电机来实现的, 利用蓄电池的电来驱动车轮。虽然该系统结构简单, 但是由于只有一台电动机, 所以该电动机不能同时驱动车轮和向蓄电池充电。

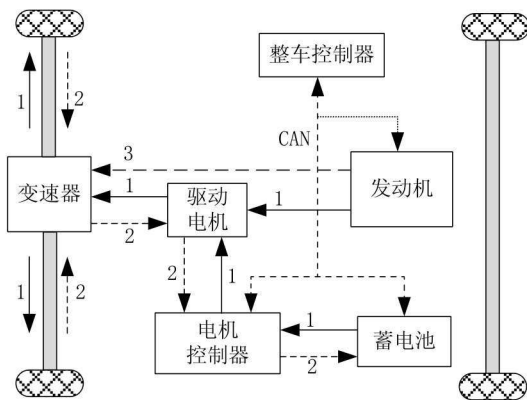


图 1-3 并联式混合动力汽车结构形式

图 1-3 中, 模式 1 为并联驱动运行, 发动机与电动机同时输出动力, 传递给变速器驱动车辆运行; 模式 2 为制动运行, 使驱动电动机运行于发电状态, 向蓄电池回收能量; 模式 3 为发动机单独驱动, 由整车控制器根据根据蓄电池不同电量状态和车辆运行工况控制实现。

3. 混联式混合动力汽车

混联式混合动力汽车采用动力分配单元, 结合了串联式混合动力系统和并联式混合动力系统, 这是为了最大化地利用这两种系统的优势, 其混合动力结构具有多种形式, 典型的混联式混合动力结构如图 1-4 所示。混联式混合动力汽车有两个电动机, 根据运行工况的要求, 通过动力分配单元, 可以选择电动机单独驱动或电动机和发动机联合驱动以达到最高效率水平。并且在必要的情况下, 系统在驱动车轮的同时还可以通过发电机发电, 丰田 Prius 和 Estima 混合动力汽车都是采用这种系统。

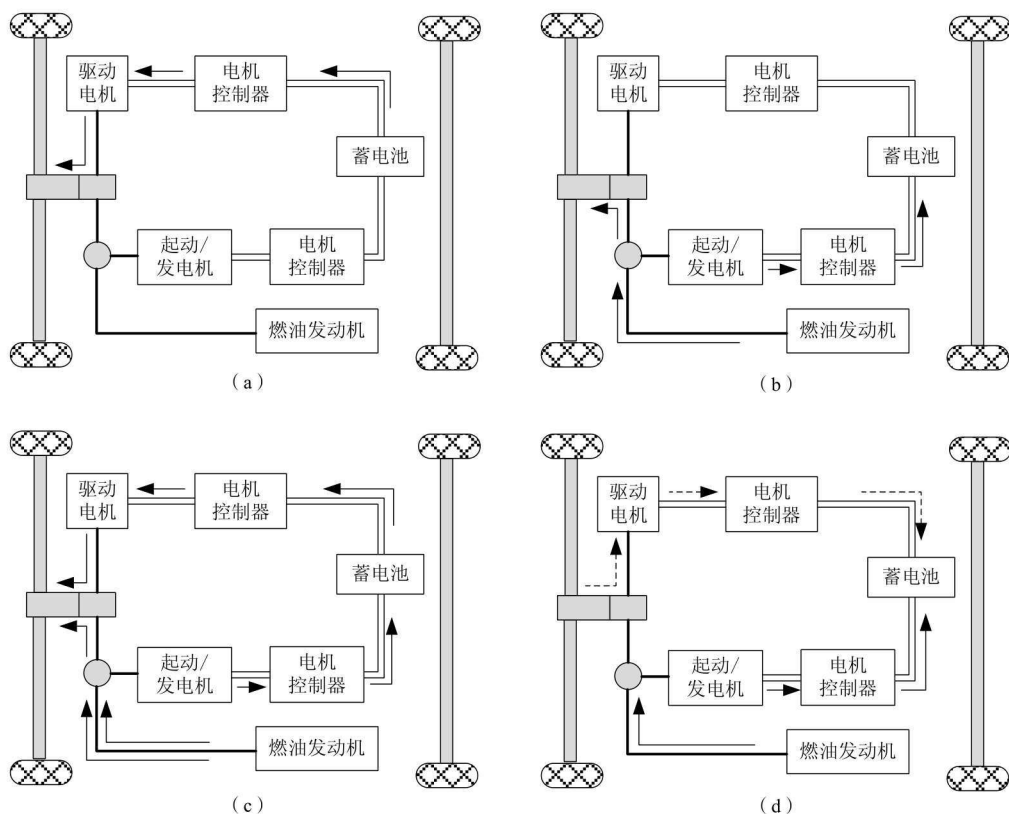


图 1-4 串联式混合动力汽车结构形式及典型运行模式

(a) 纯电动汽车；(b) 发动机驱动与发电电动机发电运行

(c) 发电与驱动电动机同时驱动运行；(d) 制动与发电运行

图 1-4 中，图 a 为纯电动运行模式，发动机和发电电动机处于停止状态，仅由蓄电池输出电能给驱动电动机，由电动机运行驱动车辆，这一运行模式与纯电动汽车相同；图 b 为发动机驱动与发电电动机发电运行模式，驱动电动机处于停止状态，这种模式常应用于车辆高速行驶的工况或蓄电池电量较低时；图 c 为发动机和驱动电动机同时驱动模式，常用于车辆加速或高速超车运行工况；图 d 为制动与发电运行模式，当车辆需要减速或停车时，驱动电动机运行于发电工况，进行能量回收，同时也可以根据蓄电池电量，由发电电动机进行充电。

串联式混合动力汽车运行工况涵盖了串联式混合动力汽车、并联式混合动力汽车和纯电动汽车的各种运行工况，控制灵活，节油率较高。

1.1.1.3 燃料电池汽车

燃料电池是主要以氢燃料为能源，辅助于蓄电池、超级电容等储能器的新能



源汽车，是一种电-电混合新能源汽车，如图 1-5 所示。燃料电池汽车是利用氢气与空气中的氧气在催化剂的作用下在燃料电池中经电化学反应产生电能，并作为主要动力源驱动的汽车。

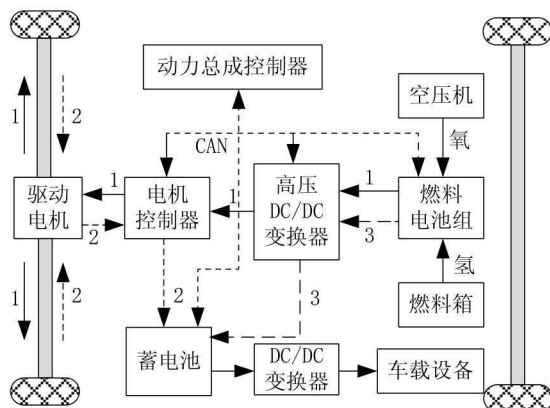


图 1-5 燃料电池汽车结构形式

图 1-5 中，模式 1 为车辆运行，由燃料电池发电，经过高压 DC/DC 变换器将电能直接提供给电动机控制器，同时蓄电池也输出电能给电动机控制器，有电动机控制器控制驱动电动机向车轮输出动能；模式 2 为车辆制动，此时驱动电动机运行于发电状态，将车辆动能转换为电能存储于蓄电池，这一模式与纯电动汽车类似；模式 3 为蓄电池充电，当蓄电池电量不足时，燃料电池发电，经高压 DC/DC 变换器给蓄电池充电。

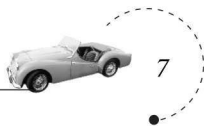
燃料电池汽车的优点主要包括：

- ① 能量转换效率高。燃料电池的能量转换效率可高达 60% ~ 80%，为内燃机的 2 ~ 3 倍。
- ② 零排放，不污染环境。燃料电池的原料是氢和氧，生成物是水。
- ③ 氢燃料来源广泛，可以从可再生能源获得，不需要依赖石油燃料。

1.2 新能源汽车的特点

1. 整车效率高

目前，虽然经历了很长时间的发展，内燃机技术已经趋于成熟，但是内燃机汽车对燃油的能量转化效率约为 38%，如果考虑到车辆在城市内行驶过程中频繁的起停、低速行驶和等待等多种行驶工况，其最终效率为 12% 左右。相对而言，新能源汽车采用电动机驱动系统，没有空转损失，新能源汽车的电池能量的



80%以上可以转化为汽车的驱动力，而即使考虑由原油发电，再给蓄电池系统充电运行，加上发电效率、送配电效率、充放电效率等，其最终车辆也可得到29%左右的能量转化效率。再有，新能源汽车在制动时有回收能量的能力，这样就更加提高了新能源汽车的能量利用率。

2. 对环境污染少

新能源汽车在行驶过程中没有废气的排放，不同于燃油汽车，新能源汽车即使以全部能量都归结为火力发电的状况计算，其废气排出量也会有很大程度的减少。新能源汽车和燃油汽车相比，几乎不会对环境造成污染。

3. 可应用多种能源

新能源汽车利用二次电力能源驱动，只要有电能的供给，就有了动力源泉，不受天然石油资源的限制。而电能的获得可以利用核能发电、水力发电、风力发电、太阳能等多种形式的原始资源。特别对于我国，水利资源和风力发电等能源的潜在发电量是相当高的，如果能有效地利用这些能源，不仅有利于环保，节约宝贵的石油资源，解决全球面临的石油资源枯竭危机，而且更符合我国经济的可持续发展战略。

4. 噪声相对较低

和内燃机汽车相比，新能源汽车明显减小了发动机（电动机）引起的振动和噪声，而发动机的振动和噪声恰恰是整车振动和噪声的主要来源。这使得新能源汽车的运行噪声比传统的燃油汽车减小了很多。通常，新能源汽车的噪声将比燃油汽车低约15 dB。

5. 机械结构多样化

由于电动机的驱动方式多变，而且可以采用不同轮分别驱动等方案，使新能源汽车的结构形成了多样化。一方面可以更合理地对系统机械结构进行配置，另一方面也可以采用多样化的造型，以满足不同消费者的需求。在新能源汽车研发的初始阶段，可以进行简单的动力部件替代，将燃油发动机新能源汽车动力性的仿真用电动机替代得到与传统汽车相仿的特性。进而，双轮独立驱动乃至四轮独立驱动被认为是新能源汽车一个有前景的发展方向，由此可实施更复杂和更灵活的系统控制以达到更高级的运行性能。

6. 优异的控制性能——电气可控变量自由度增加

新能源汽车以电动机取代了传统的内燃机，其带来的直接好处就是动力系统可以方便地通过电气参量进行控制，从而使新能源汽车的可控性增强。另外，由于电气驱动可以采取双（四）轮独立驱动的形式，这将使可控变量的自由度（自由可控变量数）增加，从而为进一步提高车辆的动力性能和操纵性能创造了



良好的硬件条件。

1.3 传统燃料汽车带来的问题

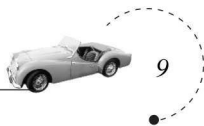
1.3.1 能源问题

运输工具应用的大部分燃料都是源于石油的液态燃料。石油是从地下采掘出来的矿物燃料，是活性物质经几千万年分解成的生成物，这些物质几百万年前被埋藏在稳定的地质层中。其形成的过程大致如下：活性物质（主要是植物）死亡，并慢慢地被沉积物所覆盖。在时间进程中，这些累积的沉积物形成半固体层，且变态为岩石。这样活性物质就被截获在一个密闭的空间内，在该处高压和高温作用下，根据它们的类别，被缓慢地或变换为碳氢化合物或变换为煤。该过程由于经百万年才能完成，这便是以地下采掘的燃料形成地球资源之所以有限的原因。

石油是维系国家经济发展和维护国家能源安全的重要战略资源之一。我国的经济对石油需求在逐年上升：第一，工业化进程加快，目前中国经济增长的主要力量是以机械、钢铁、汽车等为代表的重工业，这些行业对能源有高度的依赖性，其中工业用油占到我国石油消费总量的 40% 以上。第二，城市化进程加快，大量的农民工进城务工，大量农业人口转为城镇人口，带动了包括房地产在内的各类消费的快速增长，同时拉动了石油及其相关下游产品的需求，据研究测算，城市人口平均年消耗能源为农村的 3.5 倍。第三，在经济全球化的背景下，高耗能和高污染的国际制造业也在加速向我国转移。第四，汽车消费的快速增长急剧加大了原油消费的加速增长。2013 年以来，我国的汽车消费进入快速增长阶段，汽车保有量的增加带动石油消费的快速增长。

从经济发展对石油的依赖来看，中国能源安全的最大挑战在于石油。2004 年，中国石油消费量达到 2.92 亿吨，进口原油 1.23 亿吨，对外依赖程度达到 42.1%，2006 年进口原油 1.45 亿吨，2007 年，我国成为仅次于美国的石油消耗国，石油消耗量达 3.46 亿吨，石油对外依赖度达到 45.2%。如果中国汽车业以当前 12% 的年均增长率发展，如此庞大的汽车数量将对能源产生巨大压力，对我国未来的石油安全构成了巨大挑战。

我国是一个能源短缺的国家，却是一个能源消耗大国。按照当前的能源资源开采速度，各种一次能源可供应的年限，石油为 11.3 年，天然气为 27.7 年，煤炭为 45 年。



这些问题严重制约了我国汽车产业的可持续发展,由于汽车数量的增加,石油需求也相应地增加,因此开发替代能源和新型动力车,实现车用能源多元化已成为一项迫在眉睫的工作。

1.3.2 环境问题

对于传统燃油汽车来说,它所带来的公害主要有四种形式:气候影响、空气污染、噪声污染和电磁(波)污染,其中尤其以空气污染为最。汽车所排放出的污染物 90% 来自汽车排放出来的废气,主要成分为二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、铅以及微粒等。其中柴/汽油每 1 升产生的二氧化碳(CO_2)约 2.35 千克,而其他排放值通常以 ppm^① 或克为单位表示,表明 CO_2 排放量是相当高的。

当人类大量使用燃烧化石燃料的同时,大气中二氧化碳浓度大量增加。二氧化碳排放过量会加剧温室效应,造成全球暖化,使碳循环失衡,改变地球生物圈的能量转换形式。全球暖化会导致气候反常,影响粮食供应,世界各地的旱灾、水灾增多。而地球在短时间变暖,动物未能适应,影响分布和数目;细菌和病毒加速传播,影响人类和其他生物的健康。全球气候变暖关乎人类社会的可持续发展,因此受到国际社会的广泛关注。IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)第四次评估报告(2007 年)指出,“气候变化可能会导致一些不可逆转的影响”,如果全球平均温度增幅超过工业革命前 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,那么 20% ~ 30% 的物种可能灭绝,超过 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 则可能导致 40% ~ 70% 的物种灭绝。

据统计,2007 年我国每辆汽车的二氧化碳平均排放量为 193 g/km,从 2009 年开始我国法律限制实现每辆汽车的二氧化碳平均排放量下降为 168 g/km,减排 13%。

在环境方面,交通能源消耗也是造成局部环境污染和全球温室气体排放的主要原因之一。调查研究表明,平均而言大气污染的 42% 来源于交通运输。据有关部门 2002 年统计,在全国 600 多座城市中,空气质量达到国家一级标准的城市不足 1%。

1.4 世界范围的新能源汽车研发计划

当代整合多种高新技术而兴起的新能源汽车,正在掀起世界汽车工业的一场革命,展现了汽车工业的美好未来。近 10 年来,美国、欧洲、日本等国政府和

^① 1 ppm 即百万分之一。