

◎ 新能源车用动力系统 发展及应用

段俊法 著

XINNENGYUAN CHEYONG DONGLI XITONG
FAZHAN JI YINGYONG



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新能源车用动力系统 发展及应用

段俊法 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

当今车辆已是石油资源消耗的主体,越来越严峻的石油资源紧缺和环境污染问题成为车用动力的挑战,单纯依靠传统内燃机技术进步难以满足需求,新型能源车用动力系统得到了越来越多的关注和研究。

本书主要探讨了新能源车用动力系统发展及应用,主要内容包括:动力电池驱动系统、燃料电池动力系统、油电混合动力系统、清洁代用燃料内燃机等。

本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,可供从事汽车领域的工程技术人员、科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

新能源车用动力系统发展及应用/段俊法著. —北

京:中国水利水电出版社,2018.9

ISBN 978-7-5170-7015-3

I. ①新… II. ①段… III. ①新能源—汽车—动力系统—研究 IV. ①U469.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 238527 号

书 名	新能源车用动力系统发展及应用 XINNENGYUAN CHEYONG DONGLI XITONG FAZHAN JI YINGYONG
作 者	段俊法 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 11.5 印张 206 千字
版 次	2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	57.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

我国拥有较为丰富的能源储量,但人均能源拥有量较少,能源结构也不太合理,具有“富煤缺油少气”的特点,而能源需求中石油占据最为重要的位置,因而石油资源远期紧缺,直接影响国家未来的能源安全。

当今车辆已是石油资源消耗的主体,越来越严峻的石油资源紧缺和环境污染问题催促着车用动力能源转型,单纯依靠传统内燃机技术进步难以满足需求,因此,新型能源车用动力系统得到了越来越多的关注和研究。

动力电池驱动系统、燃料电池动力系统、混合动力系统以及代用燃料内燃机是最为重要的新型能源动力形式,由于技术路线的差异,它们的技术难度、制造成本、功率密度、续航里程等各有不同,应用范围也有所不同。

根据我国的产业政策,动力电池、燃料电池、插电式混合动力和增程式混合动力汽车在生产和销售时,企业、购车者都会得到补贴,这几类动力系统被认为是新能源动力形式。采用其他的混合动力系统以及代用燃料内燃机也是非常有效的节能减排方法,多数学者认为它们也是新型能源动力的组成部分,甚至认为全面电控化的内燃机也当属新型动力系统。

上述四种动力系统和传统内燃机都有很大的区别,在应对车辆的节能和减排问题上都有各自的优点,都有可能成为未来车用动力的重要组成部分。本书总结以上系统主要的研究成果,结合笔者的研究实践,系统阐述几种新型能源动力系统的组成原理、技术路线、工作特点、研发及应用现状以及发展趋势。

本书全文共计6章,第1章和第6章分别是概述与展望。第2~5章重点阐述纯电动动力系统、燃料电池动力系统、混合动力动力系统以及代用燃料内燃机动力的研发应用现状、主要研究结论、当前的研究热点和难点以及今后研究和发展方向等内容,希望可以为后续的研究者提供参考。

本书由段俊法博士独立完成,唐建鹏、张宇、吴排霞、何一鸣等研究生协助进行了资料收集和整理工作。刘福水教授、孙柏刚教授、马志豪教授对相关内容审阅并提出了宝贵的修改意见。

由于水平所限,本书中必有很多疏漏甚至谬误,希望得到读者的指正!

作 者

2018年5月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 能源利用和动力机械发展	1
1.2 车用动力系统的技术进展	3
1.3 车用动力的机遇和挑战	7
1.4 新型能源车用动力系统	10
第 2 章 动力蓄电池驱动系统	16
2.1 车用动力电池驱动系统概述	16
2.2 车用动力电池	19
2.3 驱动电机	21
2.4 控制系统	26
2.5 动力电池驱动系统控制策略	29
2.6 典型应用及性能预测	31
2.7 本章小结	33
第 3 章 燃料电池动力系统	34
3.1 燃料电池动力系统概述	34
3.2 燃料电池系统发展及应用	40
3.3 燃料电池系统的输出特性	45
3.4 燃料电池动力系统匹配及优化	52
3.5 燃料电池动力系统的发展趋势	56
3.6 本章小结	60
第 4 章 油电混合动力系统	61
4.1 油电混合动力系统概述	61
4.2 油电混合动力系统组成及分类	62
4.3 油电混合动力系统控制策略	71

4.4	油电混合动力系统参数设计	88
4.5	油电混合动力系统发展趋势	90
4.6	系统平台化发展	93
4.7	本章小结	101
第5章	清洁代用燃料内燃机	103
5.1	天然气内燃机	103
5.2	二甲醚内燃机	124
5.3	甲醇燃料内燃机	134
5.4	乙醇燃料内燃机	143
5.5	氢燃料内燃机	149
5.6	本章小结	162
第6章	总结与展望	163
6.1	新能源动力系统总结	163
6.2	新能源动力系统前景展望	164
参考文献		165

第 1 章 概 述

1.1 能源利用和动力机械发展

人类社会的发展水平,在很大程度上受限于能源的利用形式和动力装置的做功能力。从人类文明产生开始直到工业革命以前,人们基本上都采用人力、畜力或者简单的风力、水力从事生产和生活实践,人们采用薪材燃烧做饭取暖,采用风车、水车帮助灌溉,采用人力、畜力进行耕作,采用畜力、风力和水力从事交通运输。由于动力系统的效率较低和功率较小,人类从事生产实践的深度和广度不够,人类文明的发展较为缓慢。

以 1774 年瓦特发明实用化的蒸汽机为标志的第一次工业革命,从根本上改变了以人力和畜力为主的生产活动方式。以燃煤作为主要能源的蒸汽机可以采用较大容量的蒸汽锅炉、产生较高温度压力的水蒸气推动机械做功,进而获得可以移动的大功率动力机械。基于蒸汽机,人类能够制造以及使用大型的铸造、锻造、矿山开采设备从事艰难的工作,能够使用火车、轮船等大型交通运输工具更快更多地运输物资,极大地促进了人类文明的发展速度。

蒸汽机是典型的外燃机,燃料的燃烧在动力机械外部进行,工质被加热后经流道传输到动力机械实现热功转换,由于工质的流动距离很长,其传热损失很大而效率较低。同时,由于蒸汽本身的内能较低,产生高功率需要较大的体积,这使得蒸汽机的体积较大,难以在空间狭小而功率需求较大的使用环境中得到应用。由于效率较低,蒸汽机的能源消耗很大,碳排放很高,在其广泛应用之后造成较为严峻的能源和环境问题,这在工业革命时期的英国、德国表现得更为明显。

蒸汽机存在的问题使很多工程师开始研究新型的动力机械,其中最具有代表性的动力机械是汽油机和柴油机。1883 年德国工程师戴姆勒发明了四冲程内燃机,1892 年,德国工程师狄塞尔发明了柴油机,这两种动力机械通过燃料在其机体内部的燃烧产生高温高压的气体,进而推动活塞往复运

动,通过曲轴连杆机构对外做功。汽油和柴油的绝热燃烧温度很高,因而它们燃烧放热后能使工质达到很高的温度和压力,这使出现高效率、高功率密度的动力机械成为可能。

以汽油机和柴油机为代表的内燃机的工作方式和蒸汽机有质的不同,它们的燃料是在动力机械内部燃烧的,燃料燃烧后放出大量的热,这些热量直接将燃烧后的气体加热到很高的温度,在某些工况下甚至超过 2000K,远高于蒸汽机的工质温度,因而在理论上可以获得很高的做功能力。由于燃料在机体内部燃烧后直接推动活塞做功,工质不经过很长的流动路径,减小了传热损失,进而提高了热效率。

不仅由于较高的做功能力和热效率,还由于汽油和柴油具有很高的燃烧热值,因而内燃机工作需要携带的燃料体积较小,动力机械占据的空间不大。这些特点使得内燃机的体积小、重量轻,可以广泛应用在空间有限而动力输出要求较高的场合。一些工程师开始将这种高功率动力机械应用在马车大小的交通运输工具上:1886 年,卡尔·本茨将一代汽油机安装在马车上,使其能够靠机械行走,这被称作是人类历史上的第一台现代化的汽车。随后的 100 多年,汽油机和柴油机逐步成为占据统治地位的主要动力机械应用于汽车。

相对于传统的马车而言,以内燃机为动力系统的汽车的使用成本很低,速度很高,更加干净和卫生,因而迅速得到了人们的认可。1913 年,福特的 T 型车出现,使得低成本和低价格的汽车大量出现,使普通民众拥有私人汽车成为可能。随着汽车的广泛使用,人类活动范围大为增加,生活质量大为提升,创造的文明也出现了级数的增长。

电动机是另一种重要的动力机械,其诞生可回溯到 1821 年,英国物理学家法拉第制成的第一个实验电动机模型。直到 1865—1872 年之间,环形电枢和鼓形转子的出现,实用化的直流电机开始能够使用。1885—1886 年,环形磁场的出现使交流电机实用化开始。1889 年之后,三相鼠笼式交流电动机的出现,使电动机的大规模使用成为可能。电动机和内燃机一起,开始在国民生活的各个领域逐步占据主导,推动了第二次工业革命,使社会文明进一步发展。电动机比内燃机更加清洁,因而在汽车出现后迅速成为一种主要的车用动力,在 1900 年,电动汽车约占当年汽车总产量的 30%。

电动机的使用要求和内燃机有所不同,内燃机通过携带并燃烧高能量密度的燃料实现对外做功,因而非常适用于交通运输车辆。电动机依靠电能驱动,而电能来自其他的外部一次能源,因而需要蓄电池等能够储存电能的装置,如需应用于交通运输车辆,则需要建设电力传输设备或者大容量储电设备。由于能量密度的原因,电动汽车逐渐退出了主流市场,直到 20 世

纪末期,电池能量密度的增加、越来越严峻的能源和环境问题才使人们开始重新研究和应用电动汽车。

1.2 车用动力系统的技术进展

1.2.1 蒸汽机动力系统

在汽车出现以前,以畜力为主的车辆是主要的陆路交通工具。由于畜力本身的功率所限,车辆的载物能力和运行速度都不够理想。随着工业革命的开始,以蒸汽机为代表的动力形式出现,使具有较大载物能力和运行速度的车辆成为现实,工程师们做了很多尝试将蒸汽机应用于车辆。

早在 1769 年,法国人居纽将蒸汽机作为车用动力,制造了世界上第一和第二辆蒸汽驱动的汽车。第一辆汽车车长 7.32m,高 2.2m,车架上放置着一个像梨一样的大锅炉,依靠蒸汽动力,该车辆可以获得 3.5~3.9km/h 的运行速度(图 1.1),他在 1771 年造出第二部车,由于车速较低,载货有限,这两辆蒸汽机汽车并没有实际应用,但为其他设计者提供了参考。

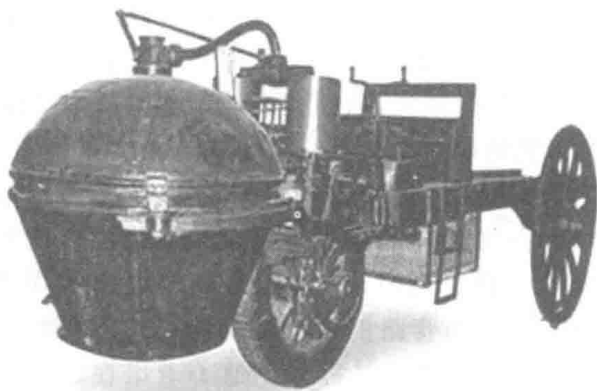


图 1.1 居纽的蒸汽机车辆

到 1804 年,脱威迪克设计并制造了一辆蒸汽机汽车,这辆汽车表现出了较好的载货能力,拉着 10t 重的货物行驶了 15.7km。1825 年,英国人斯瓦底·嘉内制造了一辆 18 座的蒸汽公共汽车(图 1.2),车速达到了 19km/h,开始了世界上最早的公共汽车运营。1831 年,美国的史沃奇·古勒将一台蒸汽机汽车投入运输,相距 15km 的格斯特和切罗腾哈姆两地之间便出现了有规律的运输服务。

由于蒸汽机本身需要较大的体积和具有较低的效率,同时蒸汽机采用



图 1.2 斯瓦底·嘉内制造的蒸汽公共汽车

燃煤在外部燃烧,对外的传热较多,造成蒸汽机本身的空间占用较大,功率较低而车辆的舒适性较差,因而并没有得到人们的广泛认可。

1.2.2 内燃机动力系统

由于蒸汽机的燃料燃烧是在机体外部发生的,不仅仅由于需要额外的蒸汽传输装置增大了本身的空间占用,而且由于其燃烧生成的热量更多地白白散失而导致效率降低,因而一些工程师和研究者考虑是否能够让燃料在机体内燃烧而降低热量损失,从而提高效率和降低本身体积和重量。这就是早期内燃机研究的萌芽。

此后,内燃机的研究经历了很长的时间。1794年,英国人斯垂特首次提出了把燃料和空气混合形成可燃混合气以供燃烧的设想,提出了可行的内部燃烧实现手段。1801年,法国人勒本提出了煤气机的原理,将煤气和空气分别从不同的管路汇入近期管路,通过扩散实现混合形成可燃混合气。1824年,法国热力工程师萨迪·卡诺在《关于火力动力及其发生的内燃机考察》一书中,揭示了“卡诺循环”的学说,对内燃机可能的效率和工作方式进行了预测,这个学说直到现在还是内燃机设计研究的基础。

1859年,法国的勒努瓦用煤气和空气形成混合气,通过电火花点火爆发燃烧,制成了二冲程煤气内燃机,法国和英国都制造了一小批。1861年,法国的德·罗夏提出了进气、压缩、做功、排气等容燃烧的四冲程内燃机工作循环方式,于1862年1月16日被法国当局授予了专利。1866—1876年,德国工程师尼古拉斯·奥托成功地试制出动力史上有划时代意义的立式和卧式四冲程内燃机(图 1.3),其功率为 2.9kW,压缩比为 2.5,转速为

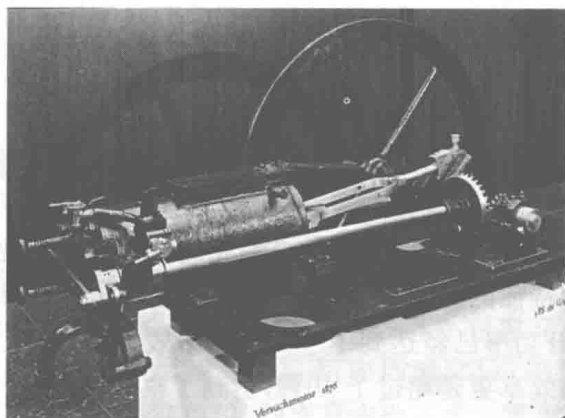


图 1.3 奥托内燃机

250r/min。这台内燃机被称为奥托内燃机,闻名于世。奥托还提出了著名的 OTTO 循环,阐述了火花点火内燃机的工作原理,并提供了优化设计思路。

曾和奥托共过事的德国人戴姆勒发明了燃烧炼制灯用煤油副产品的汽油四冲程内燃机,并在 1883 年取得专利。该发动机按照 OTTO 循环工作,实现了较好的动力性和效率。戴姆勒于 1885 年把这种内燃机装在了木制自行车上,翌年又装到了四轮马车上。同年,德国的本茨把汽油内燃机装在了三轮汽车上。本茨和戴姆勒发明汽车的时间相近,因而研究者将 1886 年作为汽车诞生的年份。1897 年,德国人狄塞尔成功地试制出了第一台柴油机,比汽油机更为省油、动力大、污染小,也成为了一种重要的车用动力系统。

早期的内燃机设计和制造水平有限,由于缺乏必要的设计理论,为了保证足够的强度抵御高温高压燃气的冲击力,工程师尽可能地采用更厚的材料,使得内燃机比较笨重;由于缺少摩擦学研究和燃烧学研究,早期内燃机更容易磨损,可靠性和寿命也较差,燃烧系统的匹配较差,内燃机的效率较低。随着内燃机的逐渐广泛应用,这些问题得到了越来越多的研究,内燃机技术得到了越来越多的发展和应用。

在内燃机诞生至今的 100 多年里,内燃机技术始终处在不断发展进步的过程中。无论是关于燃料燃烧的基础理论研究和还是强度、控制参数和方法研究等工程应用技术都得到了长足的发展。

在其诞生的前半个世纪,工程师和科学家们主要在关于可靠性和寿命的研究上取得了较大的进展,对摩擦磨损的研究也取得了较多的成果,关于燃料混合、燃料比例、燃烧极限的研究逐渐深入,采用化油器、白金点火装置及高压喷油装置的汽油机和柴油机获得了良好的动力性,内燃机的可靠性

迅速提高,迅速成为车用动力的主要形式。

进入 20 世纪中叶以后,随着车用动力研究的进一步深入和电子控制技术的发展,发动机逐步电控化,各种新型控制技术如电子点火、计算机控制点火,单点喷射、多点喷射、缸内直喷及多次喷射和组合喷射技术,电子节气门精确控制、可变气门正时和升程,增压控制、可变压比以及柴油机的高压喷射和多次喷射技术,燃烧后处理技术等先进技术不断出现,内燃机技术进入以精确控制为特征的新时期,内燃机的动力性逐步提高,燃油消耗率逐步下降,汽油机的升功率已经达到了 100kW/L ,效率高达 37% (外型见图 1.4)。而柴油机的效率更是超过了 40% ,达到了很高的技术水平。

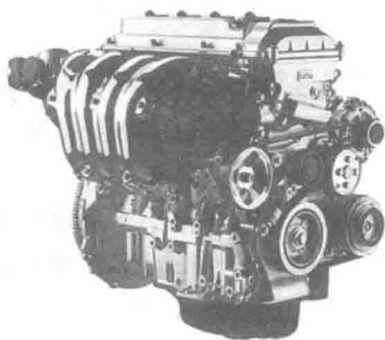


图 1.4 现代汽油机

21 世纪以来,随着能源和环保问题的逐步严峻,内燃机发展开始面临越来越多的挑战,各国排放法规对内燃机的要求越来越严格,内燃机的研究也进入了新的阶段。这个阶段,对于传统内燃机而言,一方面强调燃烧组织,改善缸内燃烧,提高热效率和降低有害污染物的生成,同时研究更加有效的缸外净化技术,采用催化方法降低排放;另一方面,研究清洁代用燃料燃烧技术,降低内燃机的排放。当前关于内燃机代用燃料的研究产生了包括天然气内燃机,甲醇、乙醇燃料内燃机,二甲醚内燃机以及氢燃料内燃机等的一系列成果。

1.2.3 其他能源动力系统

除了以传统的内燃机作为动力系统的车辆外,还有很多新型动力系统汽车,其中最具有前景和具有代表性的车辆包括太阳能汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车等。这些车辆对环境较为友好,几乎没有污染,但由于成本和能量密度的原因没有成为主流。进入 21 世纪以来,随着能源和环保问题的逐步严峻,内燃机发展开始面临越来越多的挑战,各国排放法规对内燃机的要

求越来越严格,传统内燃机汽车难以满足法规的要求,因而这些新型动力系统开始受到越来越多的重视。

1.3 车用动力的机遇和挑战

车用动力的发展和社会发展水平紧密相关。在新中国成立之前,中国没有自己的汽车厂和车用动力研发生产单位,汽车和动力系统主要通过进口,因而也没有自己的相关工业体系。新中国成立后,建立了自己的汽车厂、发动机厂以及相关的研究单位,独立自主地完成了汽车和内燃机的设计和生产,但由于对外交流不够和研究力量的薄弱,中国的车用动力工业仍在一段时期内处于很低的研究和设计水平。

随着改革开放的进行,中国的经济实力获得了很大的提升,科研和技术水平也得到了长足的发展,人民的生活水平日渐提高,不断增加的物质文化和精神文化消费需求催生了汽车的购买需求,使汽车行业得到了长足的发展,车用动力也随之获得了良好的发展机遇。

1.3.1 需求增加和迅速发展

中国的汽车工业始于1953年中国第一汽车制造厂的开工建设,并在1956年自主生产了第一辆解放牌载重卡车和第一辆东风牌轿车。在此后的几年内,中国先后自主生产了井冈山牌轿车、红旗牌轿车、凤凰牌轿车(后来更名为上海牌轿车)等轿车和东风牌卡车。

从1953年汽车工业诞生直到1980年,我国的汽车工业以卡车生产为主,卡车工业获得了一定的发展。到1980年,东风牌卡车的年产量达到了10万台,对国民经济发展起到了重要的支持作用,而轿车的产量很低,产量最大的上海牌轿车在1965—1979年间的总产量仅1.7万台,难以形成经济生产规模,对社会经济的贡献率也很低。

1984年,中国汽车行业进入合资时代,国内先后成立了北京吉普、上海大众、东风雪铁龙等合资企业,乘用车的生产能力得到了迅速提升。到1994年,轿车的年产量已经突破25万台,超过了卡车的年产量。就在同一年,国家出台了《汽车产业发展政策》,对汽车产业的发展方向进行了重新定位,把汽车和家庭联系起来。

此后,随着国民经济的不断发展和国民生活水平的提高,汽车大量走进普通国民的生活,家庭逐步成为了我国汽车消费的主要力量。日益增长的

汽车购买需求极大促进了汽车行业的发展,使得我国的汽车产销量连年快速增长,2002 年我国汽车产销量首次突破 200 万台,2009 年产销量已经超过 1350 万辆,首次位居世界第一^[1],2013 年的产销量更是超过了 2000 万台^[2]。汽车工业已经成为中国的支柱产业,在国民经济中的地位进一步提高。

汽车的使用极大地改善了国民的生活质量,缩短了物流时间,进而促进了国民经济增长。但是,汽车的大规模使用也消耗了大量的石油资源,加剧了我国本来就很紧张的石油供给形势,造成了较为严重的能源短缺和油价上涨。与此同时,石油燃料在内燃机气缸内的燃烧也会生成大量的 CO_2 和其他有害排放物,不仅造成温室效应加剧,也污染了大气和水源,威胁着人类的生存安全。造成了日益严重的能源和环境问题^[3]。

1.3.2 传统能源的日益紧缺

能源是人类赖以生存和发展的重要物质基础。传统能源包括煤炭、石油、天然气、生物质燃料、核能、风能等能源形式,其中煤炭和石油能源是世界范围内最重要的能源,以燃烧值计算的煤炭和石油年均用量超过现有世界能源总量的 70%^[3]。

自 1950 年以来,石油资源在全部能源中的比重始终超过 40%,这个比重呈现逐年上升的趋势。2001 年底,世界石油消费量已经占据全部能源消费量的 53.08%,是煤炭消费量的 2.67 倍^[4]。而世界范围内,石油的探明总储量仅是煤炭总储量的 23.47%(按照燃烧值折算)^[5],预期的石油能源供应不足。

由于石油的供给需求持续增大,而探明储量的增加有限,石油资源日渐枯竭的趋势难以避免。2012 年 6 月 26 日,英国石油公司(BP)发表的 2012 年《BP 世界能源统计年鉴》指出,截至 2011 年底和使用速度,全球石油探明储量约为 1.65 万亿桶,按目前全球石油的开采速度和使用速度,全球石油还够使用 54.2 年^[6]。

我国的能源结构特点为“富煤贫油少气”。石油探明储量仅占世界总储量的 2.3%,按照人均计算不到世界平均水平的 $1/2$ ^[7],而石油消费量占世界总量的 6.6%,因而我国的石油供需矛盾更加突出。据 BP 公司的统计公报显示,2010 年我国石油剩余探明储量为 200 亿 t^[8],BP 公司预测,虽然我国的石油探明储量在不断增加,但也仅可供持续开采 19.9 年^[9]。

按照目前的燃油消费趋势,我国每年的石油消耗都在迅速增加,工信部统计并预测了我国历年的原油开采和消耗:2011 年我国原油消耗量为 4.58

亿 t,2020 年我国原油消耗总量将达到 10 亿 t。由于储量所限,我国的石油生产量难以满足不断增加的使用需求,需要进口大量的原油和石油制品,我国经济对进口石油的依赖程度也在不断提高。我国石油对进口依存度的变化如图 1.4 所示,2011 年我国石油对进口依存度已经升至 56%,据 BP 公司 2012 年发表的《BP2030 世界能源展望》推测,我国石油对外依存度将于 2030 年突破 80%^[9],造成严重的能源安全问题。

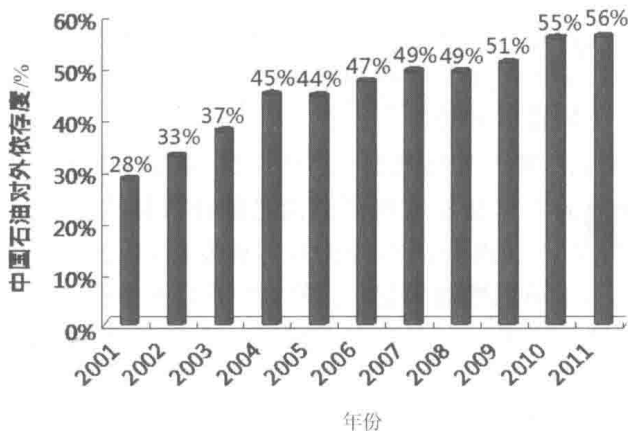


图 1.4 近十余年我国石油对外依存度变化趋势^[10]

传统汽车采用以汽油和柴油为燃料的内燃机作为主要动力单元,内燃机将燃料在气缸内燃烧放出的热能转化为机械能,从而实现对外做功。因而汽车的大规模使用意味着石油能源的巨大消耗。就我国而言,到 2017 年底,全国的汽车保有量达到 2.17 亿台,按照单车年消耗燃油 1t 计算,年消耗燃油超过 2 亿 t,如此大的燃油消耗量进一步加速暴露了我国石油能源不足的现实问题。

1.3.3 排放污染物不断加剧

石油燃料在发动机气缸内完全燃烧的基本生成物是 CO_2 和 H_2O 。由于空气供给和混合不均匀的原因,石油燃料会发生不完全燃烧,因而还会生成 HC、CO 以及 PM 颗粒物等物质。燃油在发动机缸内的燃烧使气缸内有很高的温度,因而原本不活跃的 N_2 也可能和 O_2 反应而生成 NO、 N_2O 和 NO_2 (这些产物通称为 NO_x),因而 NO_x 也是一种重要的生成物。这些生成物最终都会排放到大气中。

CO_2 和 H_2O 是汽车尾气的主要成分, H_2O 是没有污染的,对环境没有不良的影响。 CO_2 的化学性质比较稳定,对人体和环境也没有直接的损害,

但由于 CO_2 具有较大的比热容,空气中 CO_2 的含量增加会使大气温度升高,形成温室效应,造成冰川融化、海平面升高等环境变化,从长远看会威胁人类的生存环境,因而需要控制其排放总量。

HC、CO、颗粒物 PM 和 NO_x 等内燃机排放物对环境都有较大的危害。CO 进入血液后,会导致血液输送氧气的能力降低,进而导致氧气供应不足,如果人体吸入过多的 CO,可能导致昏迷,严重时导致死亡。HC 和 NO_x 在大气环境中受强烈太阳光紫外线照射后,产生一种复杂的光化学反应,生成光化学烟雾,进而造成多种疾病^[10]。颗粒物 PM 随空气进入呼吸道,在人体的肺部沉积,会引起多种呼吸道疾病^[11]。这几种燃烧产物对人体有明显的害处,是主要的排放污染物。

对我国而言,治理汽车尾气是一个巨大的挑战:由于技术水平相对落后,我国自主生产的汽车和发动机所能满足的排放标准较低,因而单车污染物远超过欧美国家^[12]。由于汽车行业的迅猛发展,我国汽车排放的总量很大,按照我国汽车年消耗燃油 2 亿 t 计算,汽车 CO_2 总排放量超过了 5 亿 t。

统计数据显示,我国 2011 年汽车排放污染物总量为:CO 排放 3174.6t、 NO_x 排放 537.1t、HC 排放 363.5t、PM 排放 56.5t^[12]。2011 年上海城区机动车排放的 HC、CO、 NO_x 分别占城区污染物总量的 86%、90%、56%^[13];2012 年北京城区非采暖季,机动车排放的 HC、CO、 NO_x 分别占城区污染物总量的 60%、88.9%、54.7%^[14]。这些数值还会随着汽车保有量的增加而增加。

1.3.4 车用动力的发展方向

汽车行业应对能源和环境双重挑战的方法主要有两种途径。一方面应提高传统汽车的燃油经济性,从而减少燃料消耗和排放污染物,主要包括内燃机燃烧控制技术和车辆匹配技术的提高等,这种方法对内燃机技术提出了很高的要求,而且提升的空间越来越有限。

另一方面,采用新能源动力系统作为车用动力用于降低燃油消耗和排放,这主要包括采用纯电动动力系统、混合动力系统、燃料电池动力系统和采用清洁能源的传统动力系统等,这种途径正在逐步成为汽车行业应对能源和环境问题的主要发展方向^[15,16]。

1.4 车用新型能源动力系统

车用新型能源动力系统除了要满足车辆的动力性、经济性等基本需求

以外,还应能够降低石油资源消耗和 NO_x 及其他有害物的生成量。研究者在此领域内开展了广泛的研究和调查,并开发了多种满足上述要求的动力系统。

1.4.1 动力电池驱动系统

纯电动汽车是指以车载电源为动力,用电机驱动车轮行驶,且符合道路交通、安全法规各项要求的车辆。动力电池驱动系统作为纯电动汽车的动力系统,是以电能作为驱动能源的动力系统,包括电池、电机、控制系统三个主要部件,其组成原理如图 1.5 所示。

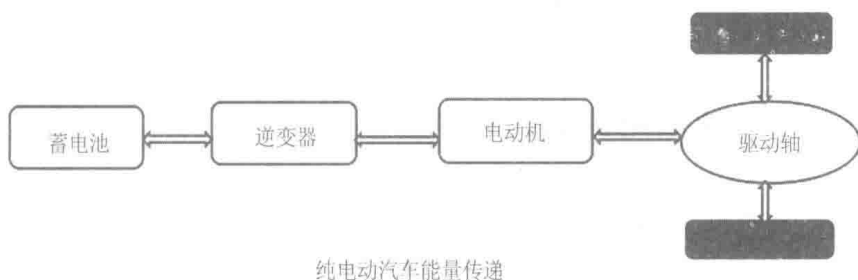


图 1.5 纯电动汽车动力系统组成原理

纯电动汽车采用电机驱动,电机本身不携带能源,纯电动力系统的驱动能源来自动力电池储存的电能。动力电池储存的放电不会产生有害排放物和碳排放,可以认为纯电动汽车是零排放的清洁车辆。

动力电池储存的电量用完之后,可以采用充电的方式补充能源,用于下次的使用,因而动力电池储存能量的多少决定了纯电动汽车的载物和行驶能力,而充电速度决定了其多次使用的时间间隔。这两个参数影响纯电动汽车的续航里程和充电速度,对其商业化应用至关重要。

纯电动力系统作为我国重点发展的新能源动力系统,近年来得到了迅速的发展和应用。纯电动力系统的产销量逐年快速增加,表现出良好的发展趋势(图 1.6)。

由于动力电池本身的能量密度较低,因而纯电动力系统难以提供很高的功率,电池的充电时间较长而充电完成后车辆的续航里程较短,因而纯电动力系统的应用范围还不够广泛。