

现代车辆新能源与 节能减排技术



第2版

XIANDAI CHELIANG XINNENGYUAN YU
JIE NENG JIANPAI JISHU

|| 主编 李明 刘楠



混合动力汽车 / 纯电动汽车 / 燃料电池汽车 / 混合动力列车
动力电池技术 / 燃料电池技术 / 能效提升技术



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

现代车辆新能源与节能减排技术

第2版

主 编 李 明 刘 楠

副主编 李 进 石俊杰 司志强 唐 慧

主 审 张秋敏

机 械 工 业 出 版 社

新能源与节能减排技术是目前交通行业大力发展的新兴技术。现代车辆采用新能源技术以达到节能减排的目的,这已成为当今世界车辆技术的发展趋势。目前,电动汽车在国内外市场上已得到较成熟的应用,混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车、混合动力有轨电车在欧洲、日本和中国已迅速发展为新兴产业。

《现代车辆新能源与节能减排技术 第2版》针对现代交通行业新能源技术,分九章讲解了新能源技术发展现状、混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车、混合动力有轨电车和燃料电池有轨电车的技术特征,以及动力电池、超级电容和燃料电池等新能源供电部件的基础知识及应用技术。

本书从汽车行业、轨道车辆行业及动力电池、超级电容和燃料电池产品基础知识和应用状况出发,结合节能减排方面的国家政策规划,由浅入深地讲解了新能源技术研究及应用现状,为汽车、轨道交通、电动自行车、电动摩托车、动力电池、超级电容和燃料电池等行业的技术人员和维护人员提供参考。本书也可作为相关科研院所研究人员、高校师生等学习新能源车辆技术的入门教程或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代车辆新能源与节能减排技术/李明,刘楠主编. —2版.
—北京:机械工业出版社,2018.6
ISBN 978-7-111-59930-2

I. ①现… II. ①李… ②刘… III. ①新能源—汽车—研究
②汽车节油—研究 IV. ①U469.7②U471.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第097671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:杜凡如 孟 阳 责任编辑:杜凡如 孟 阳

责任校对:王明欣

封面设计:张 静

责任印制:常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2018年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·15.75印张·384千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-59930-2

定价:49.80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

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

现代交通运输工具,如汽车、城市轨道车辆等,为现代社会的发展和人类生活流动性需求做出了重大贡献。目前,城市轨道车辆多采用电力驱动,对环境影响不大,但汽车的大量使用对环境造成了巨大影响。全球范围内汽车的大规模应用,已经产生并正在继续引发严重的环境与人类生存问题。大气污染、全球变暖及石油资源的迅速消耗,成为当前人们关注的重点问题。

新能源与节能减排技术是目前国内外交通行业大力发展的新兴技术。随着动力电池、超级电容和燃料电池等新能源供电部件功率密度、能量密度及充放电效率等技术水平的提升,现代车辆已开始逐渐采用动力电池、超级电容和燃料电池等新能源材料作为车辆起动、加速、长距离运行和能量回收的替代能源。混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车和混合动力有轨电车在欧洲、日本和中国已迅速发展为政府重点扶持的新兴产业。

本书针对现代交通行业新能源技术,分别讲解了新能源技术发展现状及节能减排技术,混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车、混合动力有轨电车和燃料电池有轨电车的技术特征,以及动力电池、超级电容和燃料电池等新能源供电部件的基础知识及应用技术。全书共9章,第1章主要介绍现代交通新能源技术发展现状;第2章主要介绍混合动力汽车相关技术;第3章主要介绍纯电动汽车相关技术;第4章主要介绍燃料电池汽车相关技术;第5章主要介绍混合动力有轨电车相关技术;第6章主要介绍燃料电池有轨电车相关技术;第7章主要介绍动力电池基础知识及应用情况;第8章主要介绍超级电容基础知识及应用情况;第9章主要介绍燃料电池基础知识及应用情况。本书可为汽车、轨道交通、电动自行车、电动摩托车、动力电池、超级电容等行业的技术人员和维护人员提供参考,也可作为相关科研院所研究人员、高校师生等学习新能源车辆技术的入门教程或参考书。

本书由李明、刘楠任主编,李进、石俊杰、司志强和唐慧任副主编。此外,参与编写的还有邵蓉、汪星华、侯红学、蒋洁、刘斌、邵其方、解雪林、周德来、唐晨、陈倩倩、姚峰、裴春兴、王伟、郑勇、梁刚、韩璐、万翠英、李欣伟、杨耀华和彭涤曲。由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,欢迎广大读者指正,以便做进一步修改和补充。

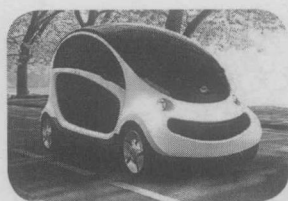
编 者

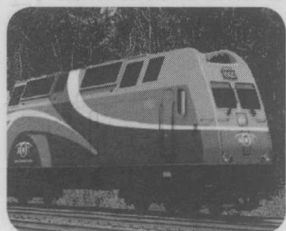
目 录



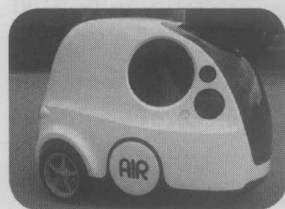
前言

第1章 现代交通新能源技术发展现状	1
1.1 现代交通运输对环境的影响	1
1.1.1 环境污染	1
1.1.2 全球变暖	2
1.1.3 能源现状	2
1.2 新能源汽车发展现状与趋势	4
1.2.1 新能源汽车的种类	4
1.2.2 国内新能源汽车发展现状	13
1.2.3 汽车行业节能减排技术研究现状	15
1.3 轨道交通行业新能源技术发展现状与趋势	24
1.3.1 轨道交通行业发展现状	24
1.3.2 有轨电车新能源技术的技术优势	24
第2章 混合动力汽车技术	26
2.1 混合动力汽车的类型与特点	26
2.1.1 混合动力汽车的定义与分类	26
2.1.2 混合动力汽车的特点	28
2.1.3 插电式混合动力汽车	29
2.1.4 混合动力汽车的关键技术	30
2.2 混合动力汽车的结构原理	32
2.2.1 串联式混合动力汽车	32
2.2.2 并联式混合动力汽车	34
2.2.3 混联式混合动力汽车	36
2.3 混合动力汽车能量管理	38
2.3.1 混合动力汽车的能量传递路线	38
2.3.2 混合动力汽车的能量控制策略	38
2.3.3 混合动力汽车的制动能量回收系统	41
第3章 纯电动汽车技术	43
3.1 纯电动汽车技术发展与产业化面临的问题	43
3.2 纯电动汽车的特点与结构原理	45
3.2.1 纯电动汽车的类型与特点	45
3.2.2 纯电动汽车的结构原理	46
3.2.3 纯电动汽车驱动系统布置形式	48
3.2.4 纯电动汽车驱动系统设计	49
3.3 纯电动汽车的核心技术	51
3.3.1 动力电池技术	51
3.3.2 电机驱动及控制技术	52
3.3.3 能量管理技术	53





3.3.4 整车轻量化技术	54
3.4 纯电动汽车能量管理与利用	54
3.4.1 纯电动汽车的能量管理系统	54
3.4.2 纯电动汽车充电装置	55
3.4.3 纯电动汽车的再生制动能量回收	57
第4章 燃料电池汽车	60
4.1 燃料电池汽车的类型与结构原理	60
4.1.1 燃料电池汽车的类型	60
4.1.2 燃料电池汽车的结构原理	63
4.2 燃料电池汽车电驱动系统及控制策略	67
第5章 混合动力有轨电车技术	69
5.1 概述	69
5.1.1 国内外混合动力轨道车辆	69
5.1.2 混合动力轨道车辆技术分析	73
5.1.3 混合动力轨道车辆应用前景分析	75
5.2 混合动力系统组成及技术参数	76
5.2.1 DC/DC 变换器主要技术参数	76
5.2.2 混合动力电源箱主要技术参数	77
5.2.3 牵引逆变器	77
5.2.4 制动电阻	78
5.2.5 牵引电机	78
5.3 混合动力系统性能参数估算	78
5.3.1 混合动力系统相关参数	78
5.3.2 车辆纵向动力学分析模型	81
5.3.3 系统参数匹配计算方法	84
5.3.4 储能设备能力计算	86
5.3.5 动力电池及超级电容数量的确定	89
5.3.6 制动能量回收	91
5.4 双向 DC/DC 变换器工作原理	91
5.4.1 双向 DC/DC 变换器的工作要求	92
5.4.2 双向 DC/DC 变换器拓扑结构的选择	92
5.4.3 双向 DC/DC 变换器模型	93
5.5 复合电源系统工作原理及仿真分析	97
5.5.1 超级电容与蓄电池模型	98
5.5.2 复合电源系统控制方式	100
5.5.3 复合电源功率分配控制策略	101
5.5.4 功率流分配策略算法	104
5.6 混合动力有轨电车运行仿真研究	105
5.6.1 混合动力仿真软件	105
5.6.2 国内某线路的混合动力方案设计	108
第6章 燃料电池有轨电车技术	118
6.1 氢燃料电池轨道车辆效益分析	118
6.1.1 社会经济效益	118



6.1.2 节能减排效益	118
6.2 混合动力系统组成及技术参数	119
6.3 混合动力系统详细设计方案	120
6.3.1 车辆设备布局优化设计	120
6.3.2 混合动力电源箱 DC/DC 主要技术参数	121
6.3.3 超级电容组技术参数	122
6.3.4 动力电池组技术参数	123
6.3.5 燃料电池系统技术参数	123
6.4 混合动力系统匹配设计与牵引特性分析	125
6.4.1 牵引特性分析	125
6.4.2 能量控制策略	126
6.5 混合动力系统集成设计技术	130
6.5.1 气路接口	130
6.5.2 冷却接口	131
6.5.3 电气/机械接口	132
6.5.4 冷启动系统	137
6.5.5 防冻保护	138
6.5.6 氢气泄漏检测	138
6.6 能量综合利用技术	138
6.6.1 动力电池箱引空调风冷却	138
6.6.2 余热利用	145
第7章 动力电池基础知识及应用技术	148
7.1 动力电池的基本构成及性能指标	148
7.1.1 动力电池的类型	148
7.1.2 动力电池的基本构成	149
7.1.3 动力电池及电池组的相关概念	151
7.1.4 动力电池的性能指标	151
7.1.5 电动车辆对动力电池的要求	156
7.2 锂电池结构与工作原理	159
7.2.1 锂电池的种类与特点	160
7.2.2 锂电池的结构与工作原理	161
7.2.3 锂电池的充放电特性	163
7.2.4 锂电池的充放电方法	164
7.2.5 锂电池的模型	168
7.2.6 锂电池的热特性与冷却方法	170
7.2.7 锂电池的失效机理及失效模式	174
7.2.8 锂电池使用安全性的影响因素	177
7.2.9 磷酸铁锂电池的外特性	178
7.2.10 动力电池使用寿命的影响因素	180
7.3 动力电池管理系统	182
7.3.1 动力电池管理系统的基本构成和功能	182
7.3.2 动力电池管理系统的设计	186
7.3.3 动力电池状态监测的相关问题	187



7.3.4 动力电池均衡控制管理	189
7.4 动力电池的特性测试	193
7.4.1 动力电池特性测试的内容	193
7.4.2 动力电池特性测试的相关标准及主要测试项目	197
7.4.3 动力电池特性测试的相关仪器设备	200
7.4.4 动力电池特性仿真分析工具	201
7.5 动力电池 SOC 的评估	203
7.5.1 动力电池 SOC 评估的作用	203
7.5.2 动力电池 SOC 的评估方法	203
7.5.3 动力电池 SOC 评估的难点	206
7.5.4 提高动力电池一致性的措施	208
7.6 动力电池组的匹配设计	208
7.6.1 电动车辆能耗经济性评价参数	208
7.6.2 动力电池组的功能要求	211
7.6.3 动力电池梯次利用与回收	211
7.7 国内外产品及主要厂家	212
7.7.1 国外产品及厂家	213
7.7.2 国内产品及厂家	215
第 8 章 超级电容基础知识及应用技术	217
8.1 超级电容结构与工作原理	217
8.1.1 超级电容的种类	217
8.1.2 超级电容的结构原理	218
8.1.3 超级电容的技术指标	220
8.1.4 超级电容的数学模型	221
8.1.5 超级电容的应用特性	222
8.2 超级电容在新能源车辆上的应用	224
8.2.1 超级电容在纯电动车辆上的应用	224
8.2.2 超级电容在混合动力汽车上的应用	224
8.2.3 超级电容使用注意事项	225
第 9 章 燃料电池基础知识及应用技术	227
9.1 燃料电池概述	227
9.1.1 燃料电池的种类	227
9.1.2 几种典型的燃料电池	230
9.1.3 燃料电池的优缺点	233
9.1.4 有轨电车用燃料电池急需解决的问题	234
9.2 燃料电池系统结构与工作原理	234
9.2.1 燃料电池的工作原理	234
9.2.2 质子交换膜燃料电池系统的组成	236
9.2.3 氢气系统概述	238
9.3 燃料电池系统的失效分析	241
9.3.1 燃料电池系统失效方式	241
9.3.2 燃料电池系统的控制系统	242
参考文献	244

现代交通新能源技术发展现状



1.1 现代交通运输对环境的影响

1.1.1 环境污染

目前,大部分燃油类地面交通车辆依靠碳氢化合物类燃料的燃烧,来获得驱动能量。很多情况下,热力发动机内的碳氢化合物类燃料燃烧是非理想化的,即除生成二氧化碳(CO_2)和水(H_2O)外,还含有一定量的一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、铅(Pb)、细微颗粒物及硫化物等,这些生成物不仅污染环境,对人体也是有危害的。此外,这些一次污染物还会通过大气化学反应生成光化学烟雾、酸沉降等二次污染物。全球大气污染的42%源于交通车辆产生的污染。随着城市机动车数量的快速增长,机动车排放的尾气已成为城市大气污染的主要污染源。一些机动车排放的污染物对多项大气污染指标的贡献率已达70%。综上,必须研究改善城市机动车排放污染的对策和措施。

主要机动车排放污染物对环境的影响情况见表1-1-1。

表 1-1-1 主要机动车排放污染物对环境的影响情况

污 染 物	对环境的影响情况
氮氧化物	虽然氮是惰性气体,但发动机内的高温和高压环境易使其反应生成氮氧化合物(NO_x)。其中最易生成的氮氧化合物是一氧化氮(NO), NO 排放到空气中会与氧反应生成二氧化氮(NO_2)。在紫外线辐射下, NO_2 又会分解为 NO ,并生成攻击活细胞薄膜的、有高度活性的氧原子。 NO_2 在一定情况下会形成有刺激性的褐色烟雾,其对人体最突出的危害是刺激眼睛和上呼吸道黏膜。 NO_2 与空气中的水反应会生成硝酸(HNO_3), HNO_3 在雨中稀释,形成酸雨,对人类生活造成巨大影响。在工业化国家中,酸雨会破坏森林,对由大理石建造的历史遗迹也会产生腐蚀作用。
一氧化碳	一氧化碳是碳氢化合物不完全燃烧生成的气体。一氧化碳与血液中的血红蛋白结合的速度比氧快250倍。一氧化碳一旦接触人和动物的血细胞,就会替代氧附着于血红蛋白上,很快就会减少器官的氧供给量,并导致体力和智力下降,危害中枢神经系统,造成感觉、反应、理解、记忆力等机能障碍,重者会危害血液循环系统,导致生命危险。
未完全燃烧的碳氢化合物	未完全燃烧的碳氢化合物对生命体是有害的,其中有些是直接的毒物或致癌的化学制品,如颗粒状物、苯等。未完全燃烧的碳氢化合物还会催生烟雾:日光中的紫外线与未完全燃烧的碳氢化合物及大气中的一氧化氮互相作用,生成臭氧等物质。臭氧是无色的,非常危险,当它侵入活细胞薄膜时,会加速生命体的老化或产生致死的毒物。



(续)

污 染 物	对环境的影响情况
其他污染物质	燃料中的杂质会随尾气一起排放，主要的杂质是硫，它存在于汽油和柴油等燃料中。硫（或硫的化合物，如硫化氢）同氧一起燃烧会生成硫化物（SO_x）。其中，二氧化硫（SO_2）是主要生成物，当其与空气接触时，会产生三氧化硫（SO_3），如果三氧化硫和水反应，则会生成硫酸，这是酸雨的主要成分。 为改善发动机的性能或寿命，石油公司在其燃料产品中会添加人工化合物。四乙基铅（常简称为铅）用于改善汽油的抗爆性，然而它燃烧后会析出铅金属，而铅金属会导致神经系统疾病。

1.1.2 全球变暖

受人类活动的影响，温室气体和硫化物气溶胶的浓度增加过快，有科学家预测，未来100年全球平均地表温度将上升1.4~5.8℃。

全球变暖是“温室效应”的结果，而“温室效应”是由二氧化碳和其他温室气体（如大气中的甲烷）所引发的。这些气体吸收了由地面反射的日光波谱的红外辐射，使自身升温。地球温度升高会破坏生态系统，引发影响人类的许多自然灾害，加剧气候变化风险。

近几十年的观测表明，人类活动是造成气候变暖的主要原因之一。人类社会对能源的大量消耗带来了温室气体排放问题，而气候变暖正源于大气中聚集了二氧化碳等大量温室气体。二氧化碳是碳氢化合物和煤燃烧的产物，是全球最重要的温室气体，是造成气候变暖的主要原因。虽然二氧化碳可被植物吸收，并由海洋以化合成碳酸盐的方式收集，但这些自然同化过程是有限的，不可能同化所有已排放的二氧化碳，其结果是在大气中形成二氧化碳的累积。

交通领域的二氧化碳排放问题是我们关注的重点。据国际能源机构（International Energy Agency，简称IEA）估计，城市机动车二氧化碳总排放量将从1990年的29亿吨增加到2020年的60亿吨。可见，机动车对地球环境造成了巨大影响。

控制消费和节约能源是减少二氧化碳排放量的重要途径。仅在工业发达国家，人均能源消费指数为1~3不等，这表明节约能源的余地是极大的。当然，还可以考虑保持适当的消费水平，同时用那些不会产生温室效应的能源来取代那些会造成污染的能源。

为减少机动车对全球气候变暖的影响，削减二氧化碳的排放量，机动车应尽量采用小排量发动机和稀薄燃烧发动机，最大限度地提高能源利用效率。目前，各国已开始制定并实施城市机动车二氧化碳排放法规。2008年，欧盟要求小型汽车二氧化碳排放量不高于140g/km，对于汽油车，对应的油耗是6L/100km以下；2012年，不高于120g/km；2020年，不高于100g/km。如果我国大力推广一系列新能源技术，包括电动汽车技术、天然气汽车技术和以天然气为燃料的内燃机技术，到2030年，我国机动车的二氧化碳排放总量有可能降低45%。

1.1.3 能源现状

石油是从地下采掘的矿物燃料，是活性物质分解后的产物，这些物质几百万年前被埋藏在稳定的地质层中。其变化过程大致如下：活性物质（主要是植物）死亡，并慢慢地被沉



积物所覆盖。这些沉积物日积月累形成半固体层，且变态为岩石。活性物质就封存在一个密闭的空间内，在高压和高温作用下，缓慢地转化为碳氢化合物或煤等物质。

地球能源主要包括石油、天然气和煤炭等，而目前全球交通运输业的燃料绝大部分来自石油及其衍生品——汽油和柴油等。根据2017年《BP世界能源统计年鉴》发布的数据，2016年，全球探明石油储量增加了150亿桶（0.9%），总量达到1.707万亿桶，按照2016年产量水平，能满足全球50.6年的产量。全球石油用量增长强劲，增幅1.6%，日用量增加160万桶，连续第二年高于10年平均增速。

全球探明煤炭储量足够满足153年的全球产量，大约是石油和天然气储量的三倍。分地区而言，亚太地区拥有最多的探明储量（占总量的48.5%），其中我国的储量占全球总量的21.4%。

截至2016年底，全球天然气探明储量为186.6万亿 m^3 ，增加了1.2万亿 m^3 （0.6%）。与石油储量相似，这一储量也可保证多于50年的全球产量。

根据2017年《BP世界能源统计年鉴》发布的数据，我国占全球能源消费量的23%，全球能源消费增长量的27%，仍然是世界上最大的能源消费国。尽管煤炭仍是我国能源消费中的主要燃料（占比为62%），但是其产量下降了7.9%，创下自1981年开始追踪产量数据以来的最大年度降幅。预计到2020年，我国能源消费总量约为45.9亿吨标准煤，其中煤炭占一次能源比重降至58.2%，天然气比重升至8.9%，非化石能源比重升至15%。

石油的消耗量（对应的生产量）与发达国家和发展中国家的经济增长同步逐年增加。其中，随着某些人口大量聚居国家的迅速发展，石油消耗量很可能大幅增加，特别是在亚太地区。而石油消耗量激增，将导致污染物迅速扩散和二氧化碳排放量成正比增加。

石油在交通领域的消费逐年增长。国际能源机构（IEA）的统计数据表明，2001年全球57%的石油消费在交通领域（其中美国达到67%）。预计到2020年，交通用油将占全球石油总消耗量的62%以上。美国能源部预测，2020年后，全球石油需求与常规石油供给之间将出现净缺口，2050年的供需缺口几乎相当于2000年全球石油总产量的两倍。

我国是一个能源短缺的国家，已探明石油储量约160亿桶，约占全球储量的1.1%，但同时又是一个能源消费大国。我国的石油消耗量仅次于美国，位居世界第2位，石油消费年均增长率达6%以上。

目前全球汽车保有量约9亿辆，预计到2030年汽车保有量将突破20亿辆，主要增量来自发展中国家。我国汽车产量逐年增加，2009年我国共生产汽车1379万辆，居世界第1位，而且远远领先于排名第2位的日本（793.45万辆）。此后我国已连续数年成为世界第一汽车生产大国和第一新车销售市场。

我国汽车保有量也增加迅速，预计到2020年，全国汽车保有量将达1.75亿辆。在石油进口依存度持续上升的情况下，国际石油价格直接影响到我国的能源安全、经济安全乃至国家安全。

在交通领域，汽车消费的快速增长导致石油消耗量加速增长。我国机动车燃油消耗量约占全国总油耗的1/3，这也使我国的石油对外依存度每年都在攀升。有关资料显示，目前我国石油消耗的60%以上依赖进口，到2020年将增至76%。此外，汽车的汽油消耗量约占全国总消耗量的87%，柴油消耗量则占全国总消耗量的38%左右。从我国单车耗油量来看，单车平均耗油量的实际值约2.5吨，比美国高10%~25%，比日本高1倍以上。



1.2 新能源汽车发展现状与趋势

全球石油资源加速递减、大气污染和温室效应引发的全球变暖，已成为亟待解决的世界性难题。交通运输领域的石油消耗量已占到世界石油总消耗量的近60%，因此各种交通工具的“节能减排”成为解决这一难题的关键。相关领域的科研和工程人员正致力于清洁能源和提高能源利用效率的研究。从车辆自身出发，提高车辆的能量利用效率是降低能源消耗最直接有效的方法之一。近年来，混合动力技术已广泛应用于交通运输领域，采用相关技术的新能源汽车大有替代传统车辆的趋势。

新能源汽车被认为是向可再生运输转变的推动者。相比传统动力系统，混合动力系统减少，甚至避免了对石油、煤矿资源的消耗。混合动力系统的共同特性是动力系统中存在能量储存装置。而混合能量储存装置是将两个或多个能量储存装置组合在一起，以使每一个能量储存装置都能发挥优势。例如，动力电池和超级电容的组合方式，便可克服动力电池低比功率和超级电容低比能量的缺点，从而获得高比能量和高比功率。混合动力系统的另一个重要特性是具有回收制动能量的能力。制动时，混合动力系统将车辆的动能或势能转换为电能，并存储到储能装置中。通过优化能量管理策略，可以在保证车辆性能的情况下尽可能多地回收制动能量，进而提高能量利用率。目前，混合动力技术在新能源汽车领域应用越来越多，也越来越成熟。

1.2.1 新能源汽车的种类

节能、低排放的新能源汽车又称清洁能源汽车，其包括的范围较广，一般可分为电动汽车、气体燃料汽车、生物燃料汽车和氢燃料汽车等。新能源汽车具有燃料利用率高、低排放或零排放等特点。新能源汽车的分类和产业链分别如图1-2-1和图1-2-2所示。

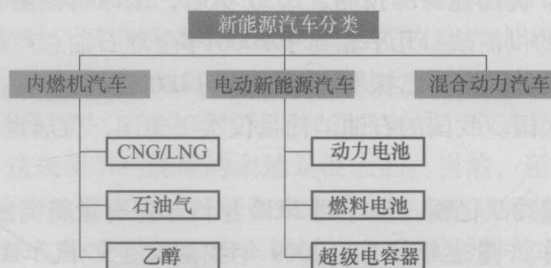


图 1-2-1 新能源汽车的分类



图 1-2-2 新能源汽车产业链



(1) 电动汽车

电动汽车包括纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池电动汽车。纯电动汽车指以动力电池为储能单元,以电动机为驱动系统的汽车。图1-2-3所示为一款新概念纯电动汽车。混合动力汽车指同时装备两种动力源——热动力源(由传统的汽油机或柴油机产生)与电动力源(动力电池与电动机)的汽车。燃料电池电动汽车指以燃料电池作为电源的电动汽车。

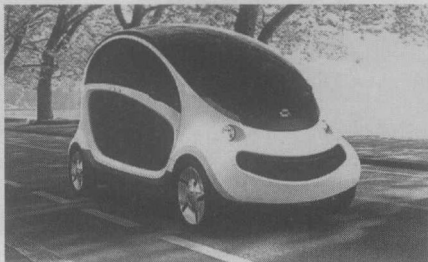


图1-2-3 新概念纯电动汽车

(2) 气体燃料汽车

气体燃料汽车指以可燃气体作为能源的汽车。

根据可燃气体的形态不同,可分为3种:

- 压缩天然气(Compressed Natural Gas, CNG),主要成分为甲烷。
- 液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG),甲烷经深度冷却液化。
- 液化石油气(Liquefied Petroleum Gas, LPG),主要成分是丙烷和丁烷的混合物。

气体燃料汽车一般分3种,即专用气体燃料汽车、两用燃料汽车和双燃料汽车。

专用气体燃料汽车是以液化石油气、天然气或煤气等气体为发动机燃料的汽车,如天然气汽车、液化石油气汽车等,这种汽车可以充分发挥天然气理化性能特点,价格低、污染少,是最清洁的汽车。

两用燃料汽车具有两套相对独立的供给系统,一套供给天然气或液化石油气,另一套供给天然气或液化石油气之外的燃料,两套燃料供给系统可分别但不可共同向气缸供给燃料,如汽油/压缩天然气两用燃料汽车、汽油/液化石油气两用燃料汽车等。

双燃料汽车具有两套燃料供给系统,一套供给天然气或液化石油气,另一套供给天然气或液化石油气之外的燃料,两套燃料供给系统按预定的配比向气缸供给燃料,在气缸混合燃烧,如柴油-压缩天然气双燃料汽车、柴油-液化石油气双燃料汽车等。

(3) 生物燃料汽车

生物燃料汽车指使用燃用生物燃料或燃用掺有生物燃料的燃油的汽车。与传统汽车相比,生物燃料汽车结构上无重大改动,但排放总体较低,如乙醇燃料汽车和生物柴油汽车等。

(4) 氢燃料汽车

氢燃料汽车指以氢为主要能量的汽车。一般汽车使用汽油或柴油作为内燃机燃料,而氢燃料汽车则使用气体氢作为内燃机的燃料。

氢内燃机在汽车上的应用方式有以下3种:

1) 纯氢内燃机。纯氢内燃机只产生 NO_x 排放,但中、高负荷时存在爆燃问题,且 NO_x 生成量远大于汽油机,发动机功率受限且氢气消耗量大,续驶里程短,这些问题均需要进一步研究解决。

2) 氢/汽油两用燃料内燃机。可根据燃料的存储状况灵活选择汽油和氢进入纯汽油或纯氢内燃机模式。

3) 氢-汽油双燃料内燃机。它可将少量氢气作为汽油添加剂混入空气中,氢气扩散速率大,能促进汽油的蒸发、雾化和与空气的混合。氢燃烧过程中产生活性自由基,能使汽油



火焰传播速度明显加快,得到较高的热效率,并产生较低的排放。

除以上种类外,新能源汽车还包括利用太阳能、核能等其他能量形式的汽车。

1.2.1.1 纯电动汽车

纯电动汽车指完全由动力电池提供动力,用电动机驱动车轮的电动汽车,目前主要采用镍氢电池和锂电池作为储能部件。虽然纯电动汽车已有 130 多年的悠久历史,但由于多数蓄电池普遍存在价格高、寿命短、外形尺寸和重量大、充电时间长等严重缺点,一直仅限于某些特定范围的应用,市场较小。纯电动汽车在中、美、日、欧等国家和地区已得到商业化推广,目前世界上有近 5 万辆纯电动汽车在运行,主要应用在市政用车、公交车、公务用车和私人用车等领域。纯电动汽车的技术攻关重点集中在提高蓄电池性能、降低成本方面。纯电动汽车的优点如下:

- 1) 无内燃机汽车工作时产生的废气,不产生排气污染,电动机的运转噪声也较内燃机小,同时可回收制动、下坡时的能量,能量利用效率高,对保护环境十分有益。
- 2) 与内燃机汽车相比,纯电动汽车结构简单,运转、传动部件少,维修保养工作量小,能量转换效率高。
- 3) 只要有电力供应的地方,纯电动车一般就可以通过家用电源或专业充电设备进行充电。同时,使用电力较燃油的成本更低。
- 4) 纯电动汽车可在夜间利用电网的廉价“谷电”进行充电,起到平抑电网峰谷差的作用。

纯电动汽车的不足如下:

- 1) 动力电池的性能指标还有待提升,生产一致性有待提高。
- 2) 动力电池耐高、低温性能差,要求的运用维护措施较多,限制了推广应用。
- 3) 与内燃机汽车相比价格较高,优势不明显。
- 4) 很难利用现有加油站资源,基础设施建设成本较高。

随着高性能锂电池性价比的不断提升,未来 5~10 年内,市场可能会出现最高车速大于 200km/h,续驶里程大于 500km 的高性能纯电动汽车。

1.2.1.2 混合动力汽车

混合动力汽车指由多于一种的能量转换器提供驱动动力的混合型电动汽车(一般为内燃机和蓄电池或超级电容)。混合动力汽车按混合方式不同,可分为串联式混合动力汽车(SHEV)、并联式混合动力汽车(PHEV)和混联式混合动力汽车(SPHEV)三种;按混合度(电动机功率与内燃机功率之比)的不同,又可分为微混合、轻度混合和全混合三种;按燃料种类的不同,又可分为汽油混合动力汽车和柴油混合动力汽车两种。目前,国内市场上混合动力汽车的主流是汽油混合动力,而国际市场上柴油混合动力车型发展也很快。

混合动力汽车最突出的优势是燃油经济性好,可按平均需用的功率确定内燃机的最大功率,使内燃机在油耗低、污染少的最优工况下工作,一般可比传统燃料汽车节约燃油 30%~50%,并显著降低排放。

1.2.1.3 超级电容汽车/公交车

超级电容是利用双电层原理的电容器。在超级电容两极板电荷产生的电场作用下,电解液与电极间的界面上形成相反的电荷,以平衡电解液的内电场,正电荷与负电荷在两个不同相之间的接触面上,以正负电荷之间极短间隙排列在相反的位置上,该电荷分布层叫作双电



层,因此电容量非常大。

以超级电容作为新能源汽车(图1-2-4)的供电电源,优点是充电时间短、功率密度大、容量大、使用寿命长、免维护、无记忆、环保程度高等,目前其运营成本仅为柴油车的1/3左右。但其缺陷是功率输出随行驶里程加长而衰减,只适合短程运行。因此,超级电容大部分用于公共交通领域,或作为纯电动汽车或燃料电池汽车的辅助电力系统。超级电容汽车的超级电容一般安装在底盘上,车辆进站后的上下客间隙,车顶充电设备自动升起,搭到充电站的电缆上,通过200~400A的充电电流完成充电,充电时间一般为20~30s。



图1-2-4 超级电容公共汽车

1.2.1.4 燃料电池汽车

燃料电池汽车指以氢气等为燃料,通过化学反应产生电流,依靠电动机驱动的汽车。其蓄电池的能量是通过氢气和氧气的化学反应获得的,无需经过燃烧,因此能量转化效率比内燃机要高2~3倍。燃料电池的化学反应过程不会产生有害产物且噪声低,因此燃料电池汽车也属于无污染汽车。从能源利用和环境保护方面看,燃料电池汽车是一种理想车辆,代表着清洁汽车未来的发展方向,战略意义十分重大。

1.2.1.5 气体燃料汽车

气体燃料汽车包括天然气汽车和液化石油气汽车。

(1) 天然气汽车

天然气汽车指以天然气作为燃料的汽车。按照所使用天然气燃料状态的不同,天然气汽车可分为压缩天然气汽车(CNGV)和液化天然气汽车(LNGV)。

液化天然气指常压下、温度为 -162°C 的液体天然气,储存于车载绝热气瓶中。液化天然气燃点高、安全性能强,适于长途运输和储存。

压缩天然气指压缩到20.7~24.8MPa的天然气,储存在车载高压气瓶中。它是一种无色透明、无味、高热量、比空气轻的气体,主要成分是甲烷,由于组分简单,易于完全燃烧,加上燃料抗爆性好、不稀释润滑油,能够延长发动机的使用寿命。目前世界上使用较多的是压缩天然气汽车。

与同功率的传统燃油汽车相比,天然气汽车尾气中的碳氢(HC)排放量可减少90%,一氧化碳(CO)可减少约80%,二氧化碳(CO_2)可减少约15%,氮氧化物(NO_x)可下降40%,且没有含铅物质排出。在节能减排方面,天然气汽车的优势不言而喻。因此,大力推广天然气汽车,对于减少城市大气污染、改善空气质量、美化城市环境、提高居民生活水平作用重大。到2020年,预计全球将有6500万辆天然气汽车,占全球汽车保有量的8%。

天然气汽车与普通燃油汽车相比,在结构上主要增加了天然气供给系统。天然气供给系统由储气部件、供气部件、控制部件和燃料转换部件组成。天然气汽车具有低污染、低成本、安全性高的特点,但动力性能较差,不易携带,而且一旦大规模投入使用,就必须建立相应的加气站及为加气站输送天然气的管道,涉及城市建设规划、经费投入和环境安全等诸多因素,成本很高。



国内外已投入市场的天然气汽车有梅赛德斯-奔驰 B170 NGT (图 1-2-5), 通用 CAPT IV A, 以及东风雪铁龙推出的新爱丽舍天然气双燃料汽车 (图 1-2-6) 等。



图 1-2-5 梅赛德斯-奔驰 B170 NGT



图 1-2-6 新爱丽舍天然气双燃料汽车

随着材料技术及电子技术的不断发展,天然气的优势会进一步突显。从长远看,天然气将会成为最有前途的车用“低污染燃料”。我国天然气资源丰富,天然气汽车技术发展较快,在天然气资源丰富的地区,天然气汽车比较普及。因此,发展天然气汽车对解决环境问题和能源问题都具有十分重大的现实意义。

(2) 液化石油气汽车

以液化石油气为燃料的汽车称为液化石油气汽车。液化石油气汽车和天然气汽车结构类似,也是增加了一套燃气供给系统。液化石油气汽车与燃油汽车相比,具有污染少、经济性和安全性好等优点,逐渐受到各国的重视。为适应汽车能源变革的大趋势,很多汽车制造商都纷纷投资开发液化石油气汽车,并制订出各种优惠政策,推广使用液化石油气汽车。

国内外已投入市场的液化石油气汽车有澳大利亚霍顿汽车公司开发的汽油/液化石油气双燃料汽车,德国改装厂 AC Schnitzer 推出的 GP3.10 GAS POWERED 液化石油气版宝马 3 系轿跑车等。

(3) 气体燃料汽车技术的优缺点

气体燃料汽车的主要技术包括:

- 1) 燃料的随车携储容器 (铝基复合材料、碳纤维玻璃钢材料,重量为钢瓶的 30% ~ 50%), 储运、加气站的设备与技术。
- 2) 燃料供给系统与混合燃烧技术。
- 3) 燃气喷射系统及闭环控制技术。
- 4) 内燃机上广泛采用电控喷射技术、增压中冷技术、四气门技术、稀薄燃烧技术等,以减少功率损失 (不大于 10%)。

气体燃料汽车的优势:

- 1) 压缩天然气 (CNG) 是天然气经 20MPa 的压力压缩而成的,是车用天然气燃料的主要储存方式。
- 2) CNG 化学性质较稳定,辛烷值高,抗爆性能好。
- 3) 自燃温度为 680 ~ 750℃,远高于汽油的自燃温度 (260 ~ 370℃),安全性较好。
- 4) 减排效果较好,如 CNG 汽车的 CO 排放量比汽油车减少 80% 左右,HC 排放减少 90% 以上,NO_x 减少 35% 以上,是目前减排效果较好的新能源汽车技术路线之一。



5) 由于 CNG 的理化特性同汽油较接近,使用时不需要对原发动机做很大改动,即可转换成 CNG 汽油双燃料汽车。但其系统压力较大,对储气罐及管路阀门等的要求很高。

气体燃料汽车的缺点:

1) 气瓶较重、气体燃料体积能量密度低(如 20MPa 压力下的 CNG 仅为汽油的 30% 左右),因此行驶里程较短,加速性能和动力性能较汽油车弱。

2) 燃气供应容易受到其他用气领域的影响,一旦燃气总供求格局发生变化,将极大影响燃气汽车的使用和原料来源。

3) 加气站和供应网络建设必须先行,且密度和覆盖率要求高于汽柴油加油站。此外,加气站投资规模较大,进口关键设备,如高性能天然气压缩机、脱硫及深度脱水装置等价格昂贵,商业模式不成熟。

1.2.1.6 生物燃料汽车

生物燃料汽车是以生物燃料为能源的汽车。生物燃料又称生态燃料,泛指从植物提取的、适用于内燃机的燃料,主要包括甲醇、乙醇、二甲醚和乙基叔丁基醚等。

(1) 甲醇燃料汽车

甲醇燃料汽车指利用甲醇燃料作为能源的汽车。甲醇作为燃料在汽车上的应用主要有掺烧和纯甲醇替代两种。掺烧指将甲醇以不同的比例(如 M10、M15、M30 等)掺入汽油中,作为发动机的燃料,一般称为甲醇汽油。纯甲醇替代指将高比例甲醇(如 M85、M100)直接用作汽车燃料。

甲醇汽油通常按甲醇含量分为低醇、中醇和高醇 3 类:

1) 低醇汽油。甲醇溶于汽油,按欧盟相关规定,可与汽油通用,甲醇可不标明。当甲醇含量超过 3% 时,应标明甲醇含量。由于甲醇在汽油中的溶解性与温度、含水量及基础汽油组成有关,为保证全溶,要适当添加助溶剂。

2) 中醇汽油。甲醇含量高,必需添加助溶剂。在我国,使用低醇与中醇汽油时,发动机完全不用改型,可与汽油通用。

3) 高醇汽油。除甲醇-汽油万能车外,发动机必须改动,需充分提高压缩比,以发挥甲醇的优点,降低甲醇消耗量,与汽油不能通用。

甲醇的特点如下:

1) 原料来源广泛,可利天然气、劣质煤、焦炭、重油和木柴等原料制取,大型化技术完善,在油价高时竞争力较强。

2) 可在汽油中以不同比例掺用,加油比充天然气更方便。

3) 辛烷值高,可作为抗爆添加剂,因此甲醇汽车的动力性能与燃油汽车相差不多。

4) 运行中尾气排放少,PM 和 NO_x 较汽油、柴油机均大幅下降。目前,福特和丰田等公司已成功开发甲醇 100% 到汽油 100% 可自由切换的灵活燃料汽车,并开始推广。

5) 生产工艺简单、设备少、运输方便。

甲醇汽车是我国新能源汽车战略中的重要组成部分,属于醇醚类汽车的代表,甲醇燃料已被确定为今后 20~30 年的过渡性车用替代燃料。

国内已投入市场的生物燃料汽车有安凯公司的 HFF6104GK39 汽油/甲醇双燃料城市公交车(图 1-2-7),上海华普汽车有限公司的海锋甲醇动力汽车(图 1-2-8)等。但由于欠缺规范性,掺烧甲醇比例不规范也带来了一些负面效果。国家应加大投入,提高支持力度,规