

中国节能与新能源汽车技术研究应用丛书

黄佳腾 罗永革 编著

创新中的 中国新能源客车



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

中国节能与新能源汽车技术

黄佳腾 罗永革 编著

创新的 中国新能源客车



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书结合作者研发、设计、生产新能源客车的经验,在调研国内部分新能源客车生产厂家的基础上,对中国新能源客车近年来的发展情况进行了梳理,内容主要包括:中国新能源客车的基本情况,新能源客车技术,新能源客车性能试验与标准,新能源客车政策体系及产业指导规划,新能源客车产业化及示范运营,以及新能源客车技术发展趋势和市场预测等。

本书适用于新能源客车设计生产人员、用户及爱好者参考阅读,也可作为高等院校车辆工程专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

创新中的中国新能源客车 / 黄佳腾, 罗永革编著

. 1—北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016. 2

ISBN 978-7-114-12502-7

I. ①创… II. ①黄… ②罗… III. ①新能源—客车—研究 IV. ①U469. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 221160 号

Chuangxin Zhong de Zhongguo Xinnengyuan Keche

书 名: 创新中的中国新能源客车

著 作 者: 黄佳腾 罗永革

责任编辑: 智景安 贾秀珍

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×980 1/16

印 张: 14.75

字 数: 270 千

版 次: 2016 年 2 月 第 1 版

印 次: 2016 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12502-7

印 数: 0001~3000 册

定 价: 60.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

伴随着汽车工业的飞速发展，环境和能源对人类生活和社会发展的影响越来越大。受能源安全、环境危机的影响，许多国家新能源汽车得到政府的大力支持。

自1888年世界上第一辆电动公交客车在英国诞生以来，新能源客车经历了漫长的发展过程。从中国新能源汽车的发展水平来看，目前新能源客车行业走在前列。近年来中国与新能源客车相关的企业纷纷推出自主研发的新能源客车产品，研发实力和创新水平不断增强；各级政府紧锣密鼓地推出与新能源客车相关的政策，不断扩大新能源客车的示范推广范围；国家电网等电力企业加大充电站和充电设施的建设力度等，诸多因素使新能源客车发展更具竞争优势。

多年以来，本书作者及其相关团队与国内新能源汽车整车、零部件企业及科研机构紧密合作，承担了多项国家、地方和企业新能源汽车相关科研项目，在新能源客车研究开发、示范推广等方面积累了丰富的理论和实践经验。作者希望通过本书的编著，能与更多的新能源客车开发者、爱好者和使用者分享多年来的实践经验和研究体会，相互交流和共同学习中国新能源客车多年来所取得的创新成果，为中国新能源客车事业的发展贡献一份力量。

本书作者结合研发、设计、生产新能源客车的经验，在调研国内部分新能源汽车厂家的基础上，试图对中国新能源客车近年来的发展和创新情况进行梳理，以使广大读者对中国新能源客车产业有较系统的了解。

本书共分六章：第一章主要介绍新能源客车定义及分类、基本结构及原理、特点及应用、发展历史及现状；第二章主要介绍中国新能源客车技术路线、蓄电池技术、电动机技术、机电耦合技术、纯电动客车与燃料电池客车动力传动技术、电控技术、整车集成技术；第三章主要介绍新能源客车主要性能、整车试验与标准、总成试验与标准；第四章主要介绍新能源客车政策体系、产业指导规划、主要政策解读；第五章主要介绍新能源客车产业链、效益分析、示范运营、维修与再利用；第六章主要介绍新能源客车技术发展趋

势、市场预测。

本书由东风电动车辆股份有限公司和湖北汽车工业学院汽车工程学院共同组织编著，参加编著的有黄佳腾、罗永革、王保华、冯樱、郭一鸣、樊继东、姚胜华、刘成武、邓召文、康元春、赵慧勇、陈小兵等。

本书在编著过程中得到东风汽车公司等有关同仁的大力支持，也参考了国内外大量文献资料。在此，对他们表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限，书中的错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者提出宝贵意见。

编者

2015年3月

目 录



第一章 新能源客车简介	1
第一节 新能源客车定义及分类	1
第二节 新能源客车基本结构及原理	2
第三节 新能源客车特点及应用	7
第四节 新能源客车发展历史及现状	12
第二章 新能源客车技术	21
第一节 中国新能源客车技术路线	21
第二节 新能源客车蓄电池技术	25
第三节 新能源客车电动机技术	48
第四节 混合动力客车机电耦合技术	66
第五节 纯电动客车与燃料电池客车 动力传动技术	79
第六节 新能源客车电控技术	89
第七节 新能源客车整车集成技术	108



第三章 新能源客车性能、试验与标准	123
第一节 新能源客车主要性能	123
第二节 新能源客车整车试验与标准	128
第三节 新能源客车总成试验与标准	142
第四章 新能源客车政策	159
第一节 新能源客车政策体系	159
第二节 新能源客车产业指导规划	168
第三节 新能源客车主要政策解读	176
第五章 新能源客车产业化及示范运营	181
第一节 新能源客车产业链	181
第二节 新能源客车效益分析	190
第三节 新能源客车示范运营	195
第四节 新能源客车维修与蓄电池再利用	213
第六章 新能源客车未来	217
第一节 新能源客车技术发展趋势	217
第二节 新能源客车市场预测	222
参考文献	228



第一章 新能源客车简介

第一节 新能源客车定义及分类

伴随着汽车工业的飞速发展，环境和能源对人类生活和社会发展的影响越来越大，节能、环保、新能源等字眼越来越紧密地与汽车联系在一起。研制开发更节能、更环保、使用替代能源的新型汽车，成为各大汽车公司的当务之急。发展新能源汽车既是解决环境和能源问题的重要途径，也是提升汽车企业核心竞争力的技术制高点。

一、新能源汽车的定义

新能源汽车是相对传统燃料汽车而言的，由于中国新能源汽车发展较晚，关于新能源汽车的定义在中国有一个不断变化的过程，中国新能源汽车的定义和包括的车辆类型逐渐由模糊变得清晰，同时也越来越科学规范。

根据“十五”国家863计划电动汽车重大专项主要政策，在2001年有了电动汽车名词，分类包括混合动力汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车。

2006年，中国开始实施“十一五”国家863计划节能与新能源汽车重大专项，该项目第一次提出新能源汽车的概念。但该项目定义的节能与新能源汽车与“十五”国家863计划定义的电动汽车完全一样，包括纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车3种，没有明确说明新能源汽车具体指哪几类汽车。

为了推动中国节能与新能源汽车的示范推广工作，根据《汽车产业发展政策》等有关规定，2009年6月17日工业和信息化部发布了《新能源汽车生产企业及产品准入管

理规则》。该规则对新能源汽车给出了明确的定义：新能源汽车是指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、采用新型车载动力装置），综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车。非常规的车用燃料是指除汽油、柴油、天然气、液化石油气、乙醇汽油、甲醇、二甲醚之外的燃料。按照这个定义，甲醇汽车、天然气汽车、乙醇汽油汽车等都被排除在新能源汽车之外。

2012年，中国国务院办公厅发布了《节能与新能源汽车产业发展规划（2012～2020年）》。在该规划中明确指出新能源汽车是指采用新型动力系统，完全或主要依靠新型能源驱动的汽车，主要包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车以及燃料电池汽车。而节能汽车是指以内燃机为主要动力系统，综合工况燃料消耗量提前达到下一阶段目标值标准的汽车。

从中国新能源汽车的定义演变过程看，中国新能源汽车的定义和包括的车型越来越清晰，也越来越规范。因此，本书所定义的新能源汽车包括纯电动汽车、混合动力汽车（包括插电式）、燃料电池汽车等。

二、新能源客车的分类

新能源客车主要包括纯电动客车、混合动力客车和燃料电池客车等。

纯电动客车是由蓄电池作为动力源，以电动机代替发动机，使用单一电能源的客车。

混合动力客车，即多于1种能量转换器来提供驱动动力的混合型电动客车，一般是指传统内燃机车辆与电动车辆产生的“混血儿”。

燃料电池客车是指以氢气为燃料，通过化学反应产生电能，依靠电动机驱动的客车。

第二节 新能源客车基本结构及原理

一、纯电动客车的组成及原理

电动汽车一般由电动机驱动，电动机的驱动能源来源于蓄电池，因此其结构和燃油发动机汽车明显不同，其系统主要组成如图1-1所示。电动汽车主要由电力驱动系统、电源

系统和辅助系统3部分组成。

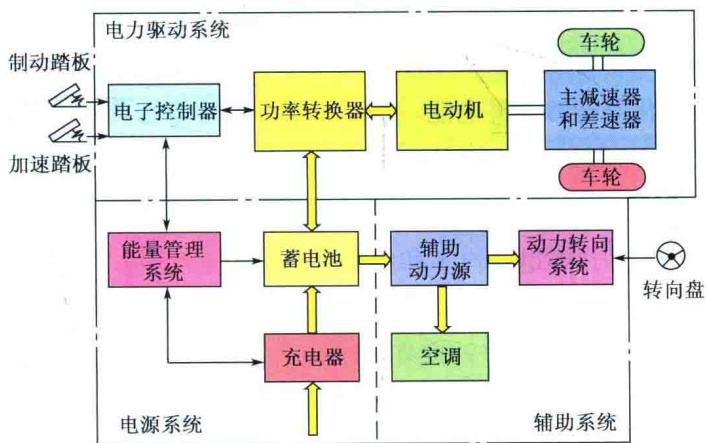


图1-1 电动汽车系统组成示意图

1. 电力驱动系统

电动汽车的电力驱动系统主要包括电子控制器、功率转换器、电动机、机械传动装置和车轮等。该系统的主要作用是将蓄电池中储存的电能为驱动汽车行驶的动能，并能够在汽车制动时回收部分制动能量给蓄电池充电。

2. 电源系统

电动汽车的电源系统主要包括蓄电池、能量管理系统和充电器等。该系统的主要作用是向电动机提供动力源，监测蓄电池工作状态，并控制充电器向蓄电池充电。

3. 辅助系统

电动汽车的辅助系统主要包括辅助动力源、空调、动力转向系统以及其他辅助设备等。

汽车行驶时，蓄电池通过控制系统向电动机供电，电动机将电能转换为机械能，机械动力通过传动系统传递给驱动轮。由驾驶员操纵的制动踏板和加速踏板上都安装有传感器。加速踏板位置传感器（或节气门位置传感器）将加速踏板的位置转换成电信号送入电子控制器，从而控制汽车的行驶速度；当汽车制动时，制动踏板位置传感器将制动踏板的位置转换成电信号送入电子控制器，从而回收汽车的制动能量。

二、混合动力电动客车的组成及原理

混合动力电动汽车，英文缩写为HEV，即Hybrid Electric Vehicle。根据国际电工技术



委员会IEC (International Electro-technical Commission) 的定义, 混合动力电动汽车HEV是能够根据特定的运行要求, 从两种或两种以上能量源、能量储存器或转化器中获取驱动力的汽车, 在运行中至少有一种能量储存器或转化器直接驱动汽车, 并且至少有一种能量源、能量储存器或转化器能够提供电能。这样, HEV就是指装有两个以上动力源 (包括有电动机驱动) 的汽车, 其动力源有多种, 包括各种蓄电池、太阳能电池、燃料电池、燃料发动机等, 也就是说, 这种汽车就是将电动机与辅助动力单元组合在一辆汽车上做驱动力。

混合动力电动汽车是在纯电动汽车和内燃机汽车的基础上发展起来的, 按驱动方案分为3种基本类型, 即串联式SHEV (Series HEV)、并联式PHEV (Parallel HEV) 和混联式CHEV (Combined HEV)。

1. 串联式SHEV

串联式混合动力电动汽车SHEV (Series Hybrid Electric Vehicle): 它由发动机带动发电机, 发电机输出的电能向动力蓄电池组充电, 蓄电池组的输出电能经过控制器输入电动机, 电动机输出的转矩经机械传动系统驱动车轮。串联式混合动力电动汽车结构示意图如图1-2所示。

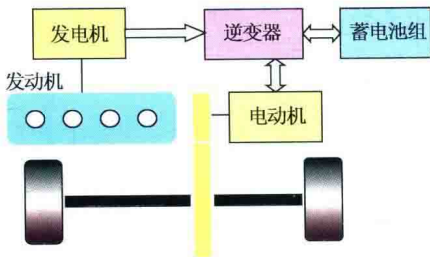


图1-2 串联式混合动力电动汽车结构示意图

串联式混合动力电动汽车的发动机为辅助动力装置, 能够控制在油耗和排放最低的最佳工况区相对稳定运行, 除带动空调压缩机等附件外, 在带动发电机时, 它所发出的电可直接供电动机或蓄电池使用。当汽车在起步、加速、爬坡或高速行驶时, 需要较大的功率而发电机无法满足时, 蓄电池组可提供额外的电能。当汽车低速行驶、滑行、制动减速或停车时, 发电机发出的功率超过汽车的动力需求, 多余的电能将向蓄电池组充电。

串联式混合动力电动汽车从总体结构上看比较简单, 容易控制, 电力驱动是唯一的驱动模式, 其特点趋近于纯电动汽车。发动机、发电机、电动机三大总成在布置上虽然有较大的自由度, 但各自的功率较大、体积较大、质量也较大, 因此在中小型混合动力电动汽车上布置有一定的困难。另外, 能量转换效率比内燃机汽车要低, 故串联式混合动力电动汽车最适合在大型客车上使用, 如在城区行驶的公共汽车。

2. 并联式PHEV

并联式混合动力电动汽车PHEV (Parallel Hybrid Electric Vehicle): 它由两套动力驱动

系统构成。第一套是发动机的动力通过与离合器的接合传至传动系统，与传统的汽车结构和原理完全一样；第二套是电驱动系统，蓄电池的电能通过控制器输入电动机，电动机输出的转矩经离合器、传动轴和传动系统驱动车轮。并联式混合动力电动汽车结构示意图如图1-3所示。

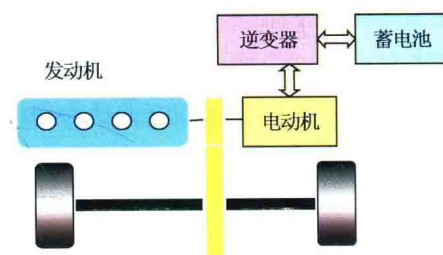


图1-3 并联式混合动力电动汽车结构示意图

并联式混合动力电动汽车的两套动力驱动系统以机械能叠加的方式驱动汽车，发动机通过变速装置和驱动桥直接相连，电动机可驱动或发电以平衡发动机所输出的功率，使发动机能在高效率区域工作。但由于发动机和驱动桥是机械连接，在城市工况时发动机并不能运行在最佳工况点，车辆的燃油经济性比串联式混合动力电动汽车要差。

并联式混合动力电动汽车有3种驱动模式：纯内燃机驱动、纯电动机驱动和混合动力驱动。也就是说，发动机与电动机可以分别独立地向驱动轮提供动力，在汽车需要大功率时两者也可以共同提供动力。在一般路面行驶时，PHEV采用纯内燃机驱动，仅使用发动机作动力；当汽车起步或在排放要求较高的区域行驶时，PHEV采用纯电动机驱动，仅使用电动机作动力；当汽车加速或爬坡时，如果发动机的动力不足以满足汽车的要求，则电动机也参与工作，即PHEV采用发动机和电动机混合动力驱动模式。

与串联式混合动力电动汽车相比，并联式混合动力电动汽车具有效率高、能量转换效率高、可以采用小功率发动机和电动机、总质量小等优点，所以PHEV比较适合于经常在郊区和高速公路上行驶的车辆采用。

3. 混联式CHEV（只使用发动机作动力）

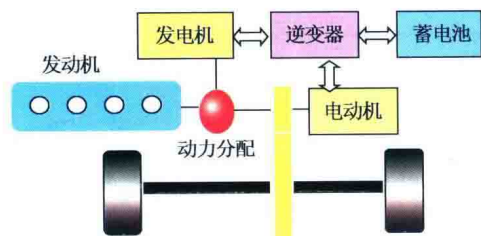


图1-4 混联式混合动力电动汽车结构示意图

混联式混合动力电动汽车CHEV（Combined Hybrid Electric Vehicle）：它是由发动机、发电机、电动机、变速器组成的一体化结构，同时兼具串联和并联混合动力电动汽车的特点。它通过实时的电子计算机控制工作过程，实现发动机与电动机的优化耦合，共同驱动汽车运行。CHEV结构示意图如图1-4所示。



发动机发出的功率一部分通过机械传动输送给驱动桥，另一部分驱动发电机发电。发电机发出的电能输送给电动机或蓄电池，电动机产生的驱动力矩通过动力耦合装置输送给驱动桥，该耦合装置可以为动力切换系统或动力分配系统。

动力切换系统用于在串联式或并联式两种驱动方式间切换。当车辆低速低负荷行驶时，离合器分离，驱动系统主要以串联方式工作；当汽车负荷较大、高速稳定行驶时，驱动系统则以并联方式工作。

目前，混联式混合动力电动汽车一般采用行星齿轮机构作为动力分配系统，将整个系统耦合在一起。比较经典的混联式混合动力电动汽车将发动机、发电机和电动机通过一个行星齿轮机构连接在一起，动力从发动机输出到与其相连的行星架，行星架将一部分转矩传输给发电机，另一部分传送给传动轴；同时发电机也可以通过电动机驱动传动轴，此时驱动系统既不是串联方式也不是并联方式，而是两种驱动方式同时存在，充分利用了两种驱动方式的优点。

动力分配式混联混合动力电动汽车根据行驶工况和能量需求，灵活采取不同的工作方式，从而达到高效率、低油耗、低排放的效果。当汽车起步或小负荷行驶时，蓄电池提供动力，电动机驱动，此时为纯电动工况；当正常匀速行驶时，发动机提供动力，而电动机、发电机和蓄电池都不输出动力，此时为纯内燃机工况；当汽车以大负荷加速行驶时，发动机和电动机共同提供动力；当减速制动时，通过制动能量回收系统给蓄电池充电；当滑行或停车时，发动机带动发电机给蓄电池充电。

由于混联式混合动力电动汽车能充分发挥串联式和并联式的优点，能够使发动机、发电机和电动机等部件进行更多的优化匹配，从而在结构上保证了在更复杂工况下使系统在最优状态工作，所以更容易实现油耗和排放的控制目标，因此是目前最具影响力的混合动力汽车。如已大批量投放市场的日本丰田Prius，动力性能完全达到同类汽油车的水平，百公里油耗只是同类汽油车的一半，平均排放指标只有日本运输省严格限值的1/10左右，成本只比同类汽油车高20%左右。

三、燃料电池电动客车的组成及原理

顾名思义，燃料电池电动汽车（FCEV，英文全称Fuel Cell Electric Vehicle）是指采用燃料电池作为能源的电动汽车。燃料电池电动汽车与纯电动汽车除了动力源不同之外，其驱动电动机、传动系统等部件都完全相同。

纯燃料电池电动汽车只有燃料电池一个动力源，汽车消耗的所有功率都由燃料电池承担，其动力系统结构示意图如图1-5所示。燃料电池将氢气与氧气反应产生的电能传递给驱动电动机，驱动电动机将电能转化为机械能传递给传动系统，从而驱动汽车行驶。

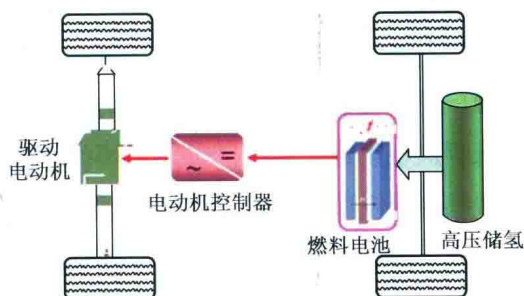


图1-5 纯燃料电池电动汽车动力系统结构示意图

第三节 新能源客车特点及应用

一、纯电动客车的特点及应用

电动汽车与传统的燃油汽车在结构上的主要区别是由电动机取代了内燃机，另外在能源、储能装置、传动系统等方面也有所不同。用电动机代替内燃机及其附属装置（即润滑、冷却、进排气系统等），使其结构简单；在燃料供给装置上，取消了燃料箱和燃料控制系统，代之以电源系统、电子控制系统等。具体比较如表1-1所示。

传统内燃机汽车与纯电动汽车的比较

表1-1

项 目	内燃机汽车	纯电动汽车
车载能源	汽油或柴油	电能
储能装置	燃油箱	蓄电池
驱动装置	内燃机	电动机及其控制器
传动系统	离合器、变速器、万向传动装置、驱动桥等	部件减少



相对传统的内燃机汽车，纯电动汽车具有如下优点。

1. 几乎无污染，噪声低

电动汽车使用的是电能，工作时不产生废气，对环境无污染。电动汽车行驶时噪声比较低，电动机产生的噪声比内燃机要小得多。

2. 能源多样化，效率高

电动汽车使用的电能来源广泛，可由煤炭、水力、风力、太阳能、核能、潮汐等转化而来，减少了对石油资源的依赖。电动汽车电能的利用效率比内燃机汽车热能的利用效率要高，而且在制动过程中电动汽车可以回收部分制动能量。

3. 结构简单，维修方便

电动汽车的结构比内燃机汽车要简单，传动部件少，维修方便，而且易于操纵。

虽然纯电动汽车与传统内燃机汽车相比具有很多优点，但目前要大力发展仍存在一定的困难，电动汽车的发展瓶颈体现在蓄电池技术方面，一是蓄电池能量密度低，二是充电时间长。另外，电动汽车系统的可靠性和高昂的价格也是阻碍电动汽车普及的主要原因。

目前，我国纯电动客车主要用于机场、社区、球场、旅游景点等地方。纯电动客车因为蓄电池本身的成本和质量问题受到一定限制，虽然享有高额补贴，但目前只适用于小规模示范运行。电动汽车的驾驶操控性优于传统柴油车，减轻了驾驶员操作中的劳动强度，并降低了噪声。目前，蓄电池比能量过低，且蓄电池价格较贵，又没形成经济规模，故购买价格较高；此外，纯电动客车的使用成本取决于蓄电池寿命及当地燃油、电价格，存在诸多不确定因素。另外，国内外蓄电池技术尚未过关，故障频率较高，维修成本太高，目前只适用在部分特定线路上作短距离运输，在长途营运客车上运用尚不成熟。

二、混合动力电动客车的特点及应用

混合动力电动汽车与常规的内燃机汽车相比，其主要优点是采用了高功率的能量储存装置（飞轮、超级电容器或蓄电池）向汽车提供瞬时能量，可以减小发动机尺寸，提高工作效率以及降低排放等。

混合动力电动汽车与纯电动汽车相比，具有以下优点：

- （1）可以最大限度发挥内燃机汽车和纯电动汽车的双重优点；
- （2）蓄电池的数量可减少，因而混合动力电动汽车自身质量可减轻；

(3) 辅助动力单元APU (Auxiliary Power Units) 的选用使汽车的续驶里程和动力性能可以达到内燃机汽车的水平;

(4) 虽然辅助动力单元(比如内燃机)会有污染物排放产生,但由于其排量小,主要工作在最佳工况点附近,避免了怠速工况和变工况,因而就大大减少了汽车变工况(特别是低速、怠速)时的排放量,另外由于可回收制动能量,可使混合动力电动汽车成为较低排放的节能汽车;

(5) 借助发动机输出的动力直接带动车内空调、暖风、真空助力器、动力转向等汽车电器附件,无须再消耗蓄电池组内有限的电能,保证了乘员舒适性;

(6) 在一些对汽车排放严格限制的地区(如商业区、游览区、居民区等),混合动力电动汽车可以关闭APU,由纯电力驱动,成为零排放的电动汽车;

(7) 混合动力电动汽车的发动机可以采用多种燃料,缓解了燃油危机。

混合动力电动汽车与传统汽车及纯电动汽车最大的差别是它们的驱动方案。驱动方案决定着部件的数量、种类以及系统的控制策略;驱动方案的差异导致不同HEV的适用条件和使用要求各不相同;同样,开发工作的难度也相差很大。可以说,驱动方案的选择决定了HEV研究开发的重点和方向,关系着开发进度和产品水平,是HEV开发中首要的关键一步。

3种不同驱动方案的混合动力电动汽车对比如表1-2所示。

混合动力电动汽车驱动方案比较

表1-2

驱动方案	串联式	并联式	混联式
主要特点	以电力形式进行动力合成	以机械形式对动力进行叠加	两者兼有
总体结构	发动机与电动机无机械连接,结构简单	发动机与电动机采用机械连接方式,结构复杂	发动机、发电机、电动机通过动力复合装置进行动力复合,结构最复杂
特殊部件	为保证系统效率,必须采用高效发动机	可以选用较小功率的发动机和电动机	动力复合装置需完成不同形式的动力合成任务,设计加工水平要求高
	要求发电机和电动机效率高,功率大	电动机可兼作发电机和电动机使用	
	一般需配备较多的蓄电池组	为实现最优控制,应选用自动变速器和自动离合器	
控制策略	以提高系统效率为核心	以实现两套系统的协调工作为目的;结构复杂	进行复杂的能量管理和协调;结构很复杂



续上表

驱动方案	串联式	并联式	混联式
整车成本	必须兼有大功率发电机和电动机及其控制器；成本高	可利用现有技术，其车辆通过性好，电动机小；总体成本高	系统复杂，部件种类数量多，性能要求高；成本更高
燃油经济性	和传统汽车相比，提高有限	有较大提高	更高
排放污染	很低，控制排放作用明显	对控制排放有适当作用	排放污染很低
适用路况	市内频繁起步加速工况	市郊和城间及高速公路工况	各种路况

目前，混合动力客车除了技术相对成熟之外，其较低的采购和使用成本更容易为公交企业所接受，约占我国新能源客车市场超过 90% 的份额，是无可争议的主导车型。对于我国客车行业来说，混合动力客车主要是柴油—电混合，其优点是内燃机可持续工作，蓄电池又可以不断得到充电，在繁华市区，可关停内燃机，由蓄电池单独驱动，实现有害气体“零”排放；缺点是长距离高速行驶基本不能省油，系统复杂（2 套系统），维护成本高。例如，南昌公交购置了某品牌的 50 辆柴油—电混合动力客车，油耗比单纯用柴油车辆的消耗还高，充电也十分不方便，当车速低于临界速度 22km/h 时，车辆超载爬坡性能不佳。当前各家采用较多的是并联式，发动机可以单独工作，即使电驱动系统出现故障、蓄电池没电，车辆仍可使用。

三、燃料电池电动客车的特点及应用

与传统内燃机汽车相比，燃料电池电动汽车具有以下优点：

- （1）能量直接转换，转换效率高，理论上可达 100%，实际上已达 60% ~ 80%；
- （2）能量应用效率高，排放污染低，几乎可以达到零排放，具备使用替代燃料的可能性；
- （3）低噪声，无振动，安静舒适；
- （4）燃料补充容易，可迅速获得动力；
- （5）低负载状态下有较高的效率。

因此，燃料电池电动汽车可以说是目前世界上最环保、高效、低公害的汽车，代表着未来汽车工业的发展方向。

纯燃料电池电动汽车的主要缺点有：

- （1）燃料电池的功率大，成本高昂；