

电动汽车的现状和发展趋势

陈清泉¹ 孙立清²

(1. 香港大学 香港特别行政区 999077; 2. 北京理工大学机械与车辆工程学院 北京 100081)

〔摘要〕 综述了世界范围内电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车当前的发展特点和规律。这 3 种电动汽车目前处在不同的发展阶段, 面临不同的问题, 并各自具有不同的发展策略。但是, 发展电动汽车的工程哲学及一些关键技术, 诸如先进电机驱动技术、能源技术、能源控制和管理技术、先进底盘和车体技术等是可共享的, 成为现代电动汽车的基础。最后总结了这 3 种电动汽车的市场前景。

〔关键词〕 电动汽车和混合动力电动汽车 电驱动 电传动 现状 发展趋势

〔中图分类号〕 TM921.51 〔文献标识码〕 A 〔文章编号〕 1000-7857(2005)04-0024-05

PRESENT STATUS AND FUTURE TRENDS OF ELECTRIC VEHICLES

CHEN Qing-quan(C C Chan)¹ SUN Li-qing²

(1. University of Hong Kong, Hong Kong 999077; 2. Mechanical and Vehicular School, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The state of the art of battery electric vehicles, hybrid electric vehicles and fuel cell electric vehicles was reviewed. These three types of electric vehicles are presently at different stages of development, facing different challenges and require different strategies. However, they have common engineering philosophy and core technologies, such as advanced motor drive technology, energy resources, energy control and management, chassis and body, etc. The challenges of commercialization of three types of electric vehicles were summarized in the end of the paper.

Key Words: electric vehicles and hybrid electric vehicles, electric drives, present status, future trends

CLC Number: TM921.51

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2005)04-0024-05

收稿日期: 2005-02-28

作者简介: 陈清泉, 男, 1937~; 香港薄林道香港大学, 荣誉教授, 中国工程院院士、英国皇家工程院院士, 主要研究方向为电机、电力驱动及电动车的研究等; E-mail: ccchan@eee.hku.hk

悬浮, 图 7 为美国按此原理研制的 Magplane 示意图。采用高温超导体也有 3 个方案: (1) 使用高温超导导线绕制磁体取代 MLX 系统中的低温超导磁体, 使工作温度可以显著提高; (2) 使用高温超导块材经充磁后形成超导永久磁体, 取代 MLX 系统中的低温超导磁体, 为此要在块材的性能提高与尺寸增大方面做大量工作; (3) 在车上用高温超导块材, 地面上铺设永久磁体, 利用超导体的钉扎效应产生的斥力实现悬浮和导向。

经多次讨论, 大多数同志认为采用永久磁体沿线路铺设的方案在工程上是不能实施的, 因为磁浮列车不是磁浮轴承。磁浮轴承可将磁场置于封闭的有限空间内, 而磁浮列车若将磁场放在地面上, 形成几十至上千 km 长的有磁轨道, 其造价、安全性和工艺性都将难以接受。

对于各种新型方案的研究, 均应该予以鼓励和支持, 进行概念设计论证和小规模的原理性实验, 待证实其可行性与优越性, 并经过认真审定后, 才可进入工程研制。例如, 美国的 Magplane 方案已经过小规模试验及大量设计论证, 其主要科技人员麻省理工学院的 D. B. Montgomery 教授曾多次来我国, 希望能合作进行工程研制发展工作, 这是应该给予考虑的。

(十分感谢连级三教授审阅了本文, 并提出了一些重要的修改意见。)

参考文献 (References)

- [1] 严陆光. 大力发展节油洁净的电气化交通 [J]. 电工技术学报, 2004, 19(8): 1~9
 - [2] 严陆光, 徐善纲, 孙广生, 戴银明, 张瑞华, 武瑛. 高速磁悬浮列车的战略进展与我国的发展战略 [J]. 电工电能新技术, 2002, 21(4): 1~12
 - [3] 严陆光. 高速磁悬浮列车技术及其在我国交通中的战略地位 [J]. 科技导报, 1999(8): 34~37
 - [4] 严陆光. 中国需要高速磁悬浮列车 [J]. 中国工程科学, 2000, 2(5): 8~13
 - [5] 严陆光. 京沪高速线应采用磁浮方案 [J]. 科技导报, 2003(6): 8~11
 - [6] 严陆光. 关于京沪高速线方案的科学比选 [J]. 科技导报, 2004(1): 3~7
 - [7] 马健, 艾阳. 城市轨道交通的投资价值分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2003(4): 1~6
 - [8] 华允璋. 不应误导京沪高速铁路的方案抉择 [J]. 科技导报, 2004(1): 10~13
- (责任编辑 王宏章)

1 电动汽车发展现状

电动汽车(EV)是 21 世纪清洁、高效和可持续的交通工具,是一种电力驱动的道路交通工具。电动汽车这个概念的内涵很广泛,它包括蓄电池电动汽车或纯电动汽车(BEV)、混合动力电动汽车(HEV)和燃料电池电动汽车(FCEV),涉及到很多学科,内容广泛而且复杂,其核心技术包括底盘和车身技术、驱动技术和能源技术。

今后 50 年里,全球人口将从 60 亿增加到 100 亿,汽车的数量将从 7 亿增加到 25 亿。如果这些车辆都使用内燃机的话,它们所需要的石油将从何而来?它们排出的尾气如何处理?天空是否将永远是灰色的?这些问题迫使人们去寻找 21 世纪可持续发展的道路交通工具。使用电动汽车有利于这些问题的解决。

从环境方面考虑,在城市交通中使用电动汽车可实现零排放或极低排放。即使考虑到给这些电动汽车提供能量的发电厂的排放,仍能显著降低全球的空气污染。从能量观点考虑,电动汽车利用的是一种可靠的、来源广泛和均衡、对环境友好的能源,例如多种可再生能源。

目前,蓄电池电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车处于不同的发展阶段,面临着不同的挑战,需要采取不同的对策。从表 1 中可以看出,蓄电池电动汽车的关键问题在于蓄电池及其管理系统。因此,蓄电池电动汽车主要适用于短程、低速的社区间,因而使用较小容量的蓄电池即可满足使用要求。混合动力电动汽车可满足使用者的要求,并且有附加值,但其成本是主要问题。燃料电池电动汽车具有作为未来主流汽车的潜力,但其技术尚处于研发阶段,它的成本太高和氢氧燃料系统供应是主要问题。纯电动汽车和混合动力电动汽车在军事上也有独特的优点,进入战区时以纯电动汽车方式运行,隐蔽性强,因为宁静、不发热,敌人不能用探热器搜索,而且动力性强,可设计成四轮驱动越野车。

表 1 蓄电池电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的特征

电动汽车类型	蓄电池电动汽车	混合动力电动汽车	燃料电池电动汽车
驱动方式	电机驱动	电机驱动 内燃机	电机驱动
能量系统	蓄电池 超级电容器	蓄电池 超级电容器 内燃机发电单元	燃料电池
能源和基础设施	电网充电设施	加油站 电网充电设施(可选)	氢气 甲醇或汽油 乙醇
主要特点	零排放 依赖原油 续驶里程短:100~200km 初期成本高 有销售	很低排放 续驶里程长 依赖原油 结构复杂 有销售	零排放或超低排放 能源效率高 依赖原油 (如用原油提炼氢氧) 续驶里程较长 成本高 研发中
主要问题	蓄电池和蓄电池管理 充电设施	多能源管理、优化控制 蓄电池评估和管理	燃料电池 燃料处理器 燃料系统

经过多年的发展,电动汽车技术日臻成熟,许多先进技术被采用,以增加续驶里程和降低成本。例如:感应电动机驱动和永磁无刷电机驱动可改善电力驱动系统;阀控铅酸电池(VRLA)、镍氢电池(Ni-MH)、锂离子电池(Li-Ion)、锂聚合物电池(Li-Polymer)、燃料电池、超级电容器可以改善电动汽车能源系统;轻车身技术,即轻质高强度材料、低风阻系

数车身等,可以降低空气阻力;低滚动阻力轮胎可以降低低速和中速时的滚动阻力;先进的充电方式、助力转向、变温座椅等可以增强电动汽车辅助系统的功能。表 2 给出了一些最新电动汽车的数据。我国在“十五”863 计划期间,电动汽车的研发有了巨大的进步,开发了纯电动、混合电动和燃料电池的公交车及轿车。政府应进一步加大力度支持其产业化,应尽快制定我国的燃油经济性标准和时间表、尾气排放标准和时间表,调整燃油税政策,扶助电动汽车的基础设施等。

1.1 纯电动汽车发展呈现出新特点

在美国,因为纯电动汽车的价格太高和行驶里程未能满足使用者的需求,因此诸如 EV1,Chrysler EPIC 等已相继停产,然而美国国家实验室还继续进行纯电动汽车的先进驱动系统、先进电池及其管理系统等的深入研究。另外小型、低速、特种用途的纯电动汽车也在不断发展。在日本,纯电动汽车与智能交通系统(ITS)的组合已成为目前电动汽车技术水平下实用化和商业化的新途径。

1.2 混合动力汽车商业销售业绩斐然

日本丰田汽车公司和本田汽车公司是目前两家批量生产和销售混合动力车的汽车制造商。美国 Ford Escape 也已投入市场。据悉,丰田和本田生产的混合动力车光是在美国市场 2005 年预计就将销售 5.8 万辆。美国和日本的企业已经开始了在混合动力车市场的竞争,预计三五年后整个市场将达到 100 万辆级的规模。

在混合动力汽车的研制和生产方面处于领先地位的丰田公司,推出了新式面包车“天尊”(ESTIMA)THS-C。该车应用了世界上第一个电动四轮驱动系统,前驱动动力总成采用并联系统,由 1 台电喷汽油机、2 个差速器、行星齿轮、动力切换装置和双离合器组成。其中,电动机/发电机额定电压、功率、扭矩分别为 210 V、13kW 和 110 N·m。日本电装公司为天尊 THS-C 制造了集成式皮带驱动的起动机/发电机(ISG),后轮完全由电机驱动,电机的额定电压、功率、扭矩分别是 216 V、18 kW 和 108 N·m。

日本在下述方面做了深入的工作。首先,改进了 PRIUS 轿车,该车于 1997 年开始生产,批量投放市场,是全球最先商品化的混合动力轿车。经过改进后,车的性能指标又有提高,其中燃油经济性大幅度提高,百公里油耗 4.5 L,节油 50%;CO₂ 排放降低 50%,CO、HC 和 NO_x 达欧洲 4 号排放标准。该车的尖端技术主要体现在以下几个方面:装备了稀燃技术的汽油发动机,发动机的效率大有提高;装备了带行星齿轮机构的动力耦合器;整车优化的控制系统及能量再生系统;高效的电动机及电池。其次,改进了 ESTIMA 混合动力车,该车比 PRIUS 车更大,除继承了 PRIUS 车的优点外,还采用了 CVT 无级变速箱,工况切换更加平稳,同时增加了后轮驱动,使其加速性及越野性能更好。该混合动力系统还可装备到小轻中巴车上,具有非常好的应用前景。丰田还推出了 CROWN 皇冠轻度混合动力车,该轻度混合动力轿车的特点是在传统汽车上不改变底盘传动系统,仅在发动机上增加了 ISG 取代了传动的发电机,同时配置了电池和电控系统。其 ISG 功率较大,取消了发动机的怠速工况,并具有能量再生功能,节油可达 15%,排放指标也得到改善。该种类型混合动力车具有成本相对较低、容易改制的特点。归纳起来,混合动力车具有以下显著特点:燃油经济性能提高 1 倍,CO₂

表 2 2004 年北京国际汽车展中展出的部分混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车

制造厂商	代表作品	外形尺寸 长×宽×高(mm)	质量/乘员数	性能	电动机	蓄电池/ 燃料电池	发动机
丰田	Prius (混合动力)	4 445×1 725×1 940	1 575kg5 人	最高车速:180km/h 0~100km/h 加速时间: 10.9 s 日本 10.15 模式:2.81L/100km 欧洲行 驶循环:4.3L/100km	永磁同步电机 50Kw/1 200~1 500rpm115Nm/ 4 200rpm400Nm/0~1 200rpm	镍氢电池 202V	1.5L 汽油机 57kW (5 000rpm115Nm (4 200rpm)
福特	Escape Hybrid (混合动力)	4 442×1 781×1 788	1 720kg5 人	城市行驶:5.9~6.7L/100k CO 排放减少 50% SLEV	永磁同步电机 最大功率 70Kw/3 000~5 000rpm 最大扭矩 175Nm/4 500rpm	镍氢电池	2.3L 汽油机 99kW(6 000rpm)
尼桑	EFFIS (小型燃料电池概念 车)	3 000×1 600×1 550	4 人	最高车速:150km/h	特殊结构电机	1 燃料电池 2 锂离子电池	(不详)
本田	FCX(燃料电池概念 车)	4 165×1 760×1 645	1 680kg5 人	最高车速:150km/hLA-4 行驶循环:395km	永磁同步电机最大功率: 80kW 转矩:272Nm	燃料电池最大功率:80kW 2 超级电容器 8F	(不详)
本田	KIMANI (燃料电池概念车)	4 500×1 820×1 250	4 人	(不详)	(不详)	(不详)	(不详)

排放量是汽油机的一半;CO、HC 和 NO_x 的排放优于欧 IV 标准和加州 SULEV 标准;能源管理系统使车辆加速平稳、动力强劲、响应更快;不用担心充电,使用便利;车辆制动和减速时,可发电存储能量,用于车辆启动和加速;进一步减少 CO₂ 的排放,当车辆准备停车时,自动关闭发动机。

1.3 燃料电池汽车前景仍被各国看好

韩国现代集团还在 Santa Fe 型车的基础上开发了燃料电池汽车,该车采用轻度材料及铝制底盘,整车质量只有 1 615 kg,采用 75 kW 的质子交换膜燃料电池及 65 kW 的感应电机。2000 年 11 月,现代汽车与夏威夷政府联合开发电动汽车,目前已有 15 辆 Santa Fe 燃料电池汽车试运行。丰田公司 1996 年制成了首辆燃料电池车,到今天已改进 FCHV-4、FCHV-5 及 FCHV-BUSI,燃料电池车的输出功率提高了 4 倍,达到 90 kW,最高车速已超过 150 km/h,续航里程达 250 km 以上。在燃料电池车方面,Honda 的 FCX 是最新品种,之前有 GM Autonomy、Nissan XTERRA、VW Bora Hymotion、DaimlerChrysler NECAR 和 THINK Focus FCV 等。大发汽车公司利用 Move 研发了 FCH-Mini-EV 燃料电池车。

1.4 电动汽车小型化

日本某公司开发的单人 PEK-EV 重量只有 70 kg,2004 年已生产了不到 100 台,在日本每台 30 万日元。日本研发了多种小型电动车辆,其中上市销售的有大发纯电动车,重 1 370 kg,最高时速 100 km/h,一次充电续驶里程约 110 km。电动汽车小型化,尤其是纯电动汽车小型化,已经成为发展趋势。

此外,从全球来看,目前世界上已开发的 AVS-battery EVUS、奔驰 FC Citaro Bus、E-battery Bus、Toyota FC-Bus、Orion Hybrid Series VII、Nova RFS FC-bus 及 AVS hybrid 35 等共有 316 辆(其中 90 辆混合动力客车、6 辆燃料电池电动客车),同时 Estima、Dualnote、Liberty TTR、Acura DN-X、Durango TTR、GMC Sierra 及 Ram7 等概念车也在研发中。

2 电动汽车发展的工程哲学

电动汽车的工程哲学在本质上是汽车工程和电气工程的结合。因此,要在可接受的价格范围内实现电动汽车的优良性能,首先应考虑系统的整合和优化。由于电动汽车的电力驱动特性与内燃机的驱动特性有本质区别,对电动汽车工程来说,它需要一种全新的设计方法,其核心是系统的集成优化。此外,先进的能源和智能能源管理系统是使电动汽车提高竞争力的关键因素。当然,电动汽车能否畅销的决定

性因素在于其总体性能价格。

3 电动汽车和混合动力电动汽车的结构

3.1 电动汽车的结构

纯电动汽车的组成如图 1 所示。纯电动汽车主要由 3 个子系统组成:电力驱动系统、能源系统和辅助系统。电力驱动子系统包括电子控制器、功率转换器、电动机、机械传动装置。能源子系统包括能源(电源)及能量管理系统。辅助系统包括助力转向单元、温控单元和辅助动力供给单元等。图中,双线表示机械连接,粗线表示电气连接,细线表示控制连接。每条线上的箭头表示电能或控制信息的流向。根据驾驶者从加速踏板和制动踏板来的信号,电子控制器发出相应的控制信号以控制功率转换器功率器件的开关。功率转换器的作用是调节电机和能源间的能源流。能量的回流是因为电动汽车制动能量的再生,该能量被能源吸收。应指出的是多数电动汽车的电池(除某些金属/空气电池)、超级电容器和飞轮都能够吸收制动再生能量。能量管理单元与电子控制器一起控制可再生制动,从而实现系统能量流的最优化。能量管理单元也和能量单元一起控制能量并监测能源的使用情况。辅助动力供给系统向所有的电动汽车辅助装置提供不同电压的电源。

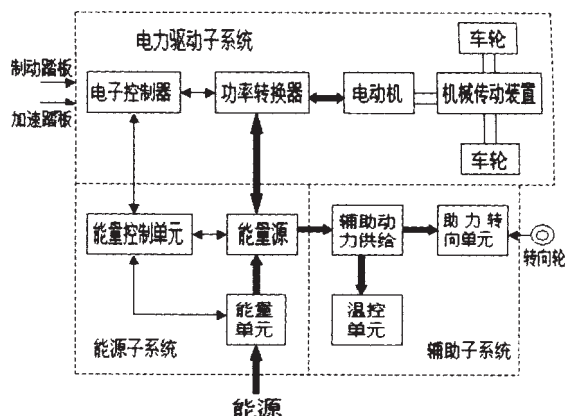


图 1 纯电动汽车组成

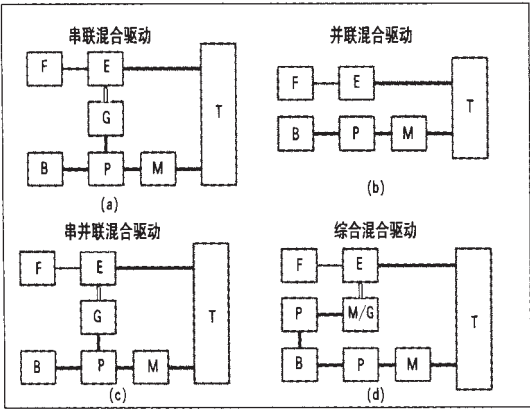
3.2 混合动力电动汽车的结构

混合动力电动汽车设计中的主要问题在于多能源的优化控制,这与行驶循环工况有密切的关系。混合动力电动汽车的实质是利用电力传动以补偿内燃机驱动固有的弱点,即避免怠速、提高内燃机在低速工况时的效率降低其排放、

提高内燃机在高速工况时的效率及降低其排放、减速或下坡行驶时可使用电机再生制动而不是简单的机械制动。

混合动力电动汽车传统上被分为两类：串联式和并联式。由于近年来出现的一些混合动力电动汽车兼有串联式和并联式的特征，其分类又扩展成3种：串联式、并联式和混联式。有趣的是，最新推出的一些混合动力电动汽车不能归纳到以上3类之中。因此，混合动力电动汽车的最新分类为如下4种：串联式、并联式、混联式（串并联式）、综合式。

图2中给出了以上4种混合动力电动汽车的功能框图。其中，电气连接是双向的，液力连接是单向的，机械连接（包括离合器和齿轮）也是双向的。从图中可见，串联式的主要特征是内燃机/发电机提供的电能和蓄电池提供的电能是以电能型式一起叠加供给电机进而驱动车轮运转，以满足车辆的动力需要。由于3种功率源是以电能型式叠加，因此用电缆连接即可，容易实现，器件布置也较灵活。并联式的主要特征是内燃机输出的机械功和电动机输出的机械功，以机械能的型式一起提供并以电能型式驱动车轮运转，以满足车辆的动力需要。由于2种功率源是以机械能型式叠加、需要有相应的机械传动装置，因此其实现不如串联式简单、器件布置也有一定的局限性；混联式则直接把串联和并联相结合。综合式能提供更多的工作模式。



B—蓄电池 E—内燃机 F—燃料箱 G—发电机
M—马达 P—功率转换器 T—传动系
电气传动(—) 液力传动(—) 机械传动(—)
图2 混合动力汽车简图

3.3 电力驱动

电力驱动系统是电动汽车的心脏。电动汽车的电力驱动系统包括电机驱动装置、机械传动装置和车轮，机械减速器有时可省略。电机驱动装置包括电动机、功率转换器和电子控制器，它是电动汽车驱动系统的核心。电动汽车电机驱动的主要技术要求如下：(1)高瞬时功率；(2)低速时能为启动和爬坡提供高转矩，高速时能为续航提供高功率；(3)具有恒转矩和恒功率工作区域；(4)快速的转矩响应；(5)在较宽的速度和转矩工作范围内具有较高的效率；(6)制动再生效率高；(7)可靠性好，适合于车辆的各种恶劣工况；(8)合理的价格。

以往，由于直流电动机的转矩-速度特性符合牵引特性的要求，且速度控制比较简单而被领先用于电动汽车。然而，直流电动机有整流器，因而需要经常性的维护。目前，由于技术的发展，无整流器（无刷）电动机的发展进入一个新时期。与直流电动机相比，它具有效率高、功率密度高、生产

成本低和免维护等优点。由于电动汽车首先考虑的是提高可靠性和降低生产成本，因而无整流器电动机开始引起人们的注意。无整流器电动机包括感应（异步）电动机、永磁同步电动机（无刷直流电动机）和开关磁阻电机等。作为无整流器电动机，感应电动机技术成熟、可靠性好、无需维护，因而被广泛应用于电动汽车上。此外，永磁电动机用永磁体产生磁场，因而能达到更高的效率和功率密度，所以永磁电动机在电动汽车的应用也在不断增长。

3.4 能源装置

用于BEV、HEV和FCEV蓄电池的工作条件与用于其它设备的蓄电池的工作条件不同。因此我们应该很好地了解电动汽车蓄电池的工作要求。表3给出了EV蓄电池的关键技术数据并与美国先进蓄电池协作体公布的指标作了比较，表4给出了各种蓄电池的特点及其对比。

表3 EV 蓄电池的关键技术

	比能量 a (Wh/kg)	比功率密度 a (W/kg)	比功率 b (W/kg)	循环寿命 b	参考价格 d (US\$/kWh)
阀控铅酸	30~45	60~90	200~300	400~600	150
镍-镉	40~60	80~110	150~350	600~1 200	300
镍锌	60~65	120~130	150~300	300	100~300
镍氢	60~70	130~170	150~300	600~1 200	200~350
锌/空气	230	269	105	NA c	90~120
铝/空气	190~250	190~200	7~16	NA c	NA
钠/硫	100	150	200	800	250~450
钠/氯化镍	110	149	150	1 000	1~230~350
锂聚合物	155	220	315	600	NA
锂离子	90~130	140~200	250~450	800~1 200	>200
USABC	200	300	400	1 000	<100

NA—不详、a—C/3 放电率、b—80%DOD、c—机械重充电、d—仅供参考、USABC—美国先进蓄电池协作体

表4 各种 EV 蓄电池的特点对比

优点 比		铅酸	镍-镉	镍氢	锂离子	
					传统型	锂聚合物
铅酸			质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率
镍-镉		更好的可循环性 电压输出 价格		质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率
镍氢		更好的可循环性 电压输出 价格	工作温度范围 更好的可循环性 自放电率 价格	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率
锂离子	传统型	更好的可循环性 价格 安全 可重复循环	工作温度范围 更好的可循环性 价格 安全 自放电率 可重复循环	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率
锂离子	锂聚合物	更好的可循环性 价格	工作温度范围 更好的可循环性 价格	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率
绝对优势		更好的可循环性 价格	工作温度范围 价格	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率	质量能量密度 体积能量密度 自放电率 电压输出 自放电率 结构特点 自放电率

燃料电池是一种电化学装置，它把电化学反应产生的能量转换成电能。燃料电池有以下优点：把燃料转换成电量的效率高，工作安静，零排放或基本上达到零排放，可进行废热再利用，添加燃料速度快，能源来源广，发电持续、可靠。

表5总结了燃料电池的典型特点，可以发现MCFC、SOFC适用的工作温度都高，这使得它们很难被用于电动汽车上。尽管对DMFC技术已经研究了30多年，这项技术仍

然不成熟。PAFC、AFC 和 SPFC(PEM),从技术上来说,都可以应用于电动汽车上,故称为电动汽车燃料电池。

表 5 典型燃料电池的主要参数

	PAFC	AFC	MCFC	SOFC	SPFC	DMFC
工作温度(℃)	150~210	60~100	600~700	900~1 000	50~100	50~100
功率密度(W/cm ²)	0.2~0.25	0.2~0.3	0.1~0.2	0.24~0.3	0.35~0.6	0.04~0.23
设计寿命(kh)	40	10	40	40	40	10
生产成本(US\$/kW)	1 000	200	1 000	1 500	2 000	200

注:PAFC—磷酸燃料电池、AFC—碱性燃料电池、MCFC—碳酸燃料电池、SOFC—固体氧化物燃料电池、SPFC—质子交换膜燃料电池、DMFC—直接甲醇燃料电池

4 电动汽车技术发展趋势

为了社会经济可持续发展,交通运输必须可持续发展。汽车可持续发展遇到的 3 大问题是能源、环保和安全。纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车在解决这 3 大问题上将起着关键的作用。美国、欧洲、日本在解决这 3 大问题上都制定了相应的目标、措施和时间表。表 6 是欧盟的研发目标。要完成上述目标,需要突破的技术包括动力系统、控制系统、信息系统、能源和燃料系统、汽车结构系统、振动和噪音系统、主动和被动安全系统等。

电动汽车产业化面临的阻力和障碍主要是成本价格、性能可靠性、安全性、耐用性、使用方便性、基础实施完善性等。

表 6 欧盟未来汽车研发目标

	轿车	货车	客车
CO ₂ /GHG 排放	2020: 95g/km 2030: 80g/km	2020: 比现在减少 20%	2020: 比现在减少 40%
尾气排放	2020: 50%欧Ⅳ, PM 0.1 控制	2020: NO _x <25%欧Ⅳ, PM<50%欧Ⅳ, 包括目前未控制的化合物,就地控制	
燃料	2020: 了解地区环保的真正需求 2020: 20%采用替代燃料,燃料和燃烧优化,相当的公交车队采用 CNG 和氢气 2030: 可持续交通的途径和法规确定并颁布实施		
安全	2020: 道路死亡减少 75%		
交通	2020~2050: 实施自动驾驶系统		
噪音	2020: 远程交通信息管理消除交通拥挤,并使在高速公路上驾驶轻松 2020: 环境所能接受的噪音水平,采用整体措施减少实际噪音 2030~2050: 进一步减少城市交通噪音,达到世界卫生组织的目标		
回收循环	2020: 达到 85%,实施从来源到最终过程可利用的分析标准 2040: 达到 95% (以重量计),其余 5% 的处理对环境的影响低		

注: CNG—压缩天然气(Compressed Natural Gas); CO₂—二氧化碳(Carbon Dioxide); GHG—温室气体(Green House Gas); NO_x—氮氧化物(Oxides of Nitrogen); PM—微粒(Particulate Matters)

中国发展混合动力车辆技术的条件已经基本具备:(1) 能源紧张,油价持续上涨,使用混合动力车更为现实;(2) 车辆购置税减免 30%,主要针对欧洲Ⅱ以上车辆;(3) 据悉,为贯彻绿色奥运的理念,北京市政府将在 2008 年前执行欧洲Ⅲ汽车排放标准;(4) 养路费 etc 并入油价,节油和排放将备受重视;(5) 政府的优惠政策: 有消息称混合动力车抵岸价将减免 20%,混合动力车已写入我国的汽车工业产业政策;(6) 汽车产品燃油公示制度的出台;(7) 欧Ⅱ和欧Ⅲ发动机价格相差约 10 万元(12m 车用),采用混合动力后可将欧Ⅱ车的排放改进为欧Ⅲ;(8) 电池技术尚待进一步突破;(9) 国际上混合动力车产业化技术相对成熟且已形成规模销售,可供我国借鉴;(10) 城市公交客车中高档化;(11) 奥运会和世博会的机遇。

根据有关资料,按照中国汽车工业发展规划要求,中国的电动汽车产业一个较合理而且较可行的目标是到 2010 年,电动汽车保有量占汽车保有量的 5%~10%,年生产销售电动汽车 150 万辆以上,至 2030 年电动汽车保有量占汽车保有量 50%以上,年生产销售电动汽车 1 000 万~1 950 万辆。这当中混合动力车辆将会占有相当比重。一汽丰田将于 2005 年生产丰田混合动力的 Prius 轿车,而通用中国 and 上汽也将首度合作推出混合动力客车。中国的混合动力车辆市场潜力巨大,但也应该看到这项技术的发展必将对今后燃料电池电动汽车的技术进步起到重要作用。

5 结论

节能和环保的要求促进了电动汽车的发展。展望未来的几十年,在新技术的支持下,将继续发展蓄电池及先进的驱动系统。纯电动汽车将主要用于小型车辆市场,比如社区交通。混合动力电动汽车能满足使用者的需求,将得到飞速发展。混合动力电动汽车的关键问题是多能源控制优化,以便在满足动力性的同时提高能源效率并降低排放,同时发挥其附加值,使其更智能、可靠、舒适并降低成本。由于燃料电池电动汽车几乎可以达到零排放,比内燃机车辆驱动能力好,所以从长远来看,它将成为未来的主流车辆。燃料电池电动汽车的关键问题是如何开发低成本的燃料电池、燃料变换器及燃料供应系统。开发电动汽车的正确的工程哲学对电动汽车的战略发展起着至关重要的作用。通过各方面的共同努力,我们必然会迎来一个清洁电动汽车的新时代。

参考文献(References)

- [1] C C Chan, Y S Wong. The State of the Art of Electric Vehicles Technology [A]. In: Proceedings of the 4th International Power Electronics and Motion Controls Conference (IPEMC 2004) [C]. Xi'an, China, 2004. 46~57
- [2] C C Chan, Y S Wong. Electric Vehicles Charge Forward[J]. (Invited Paper) *IEEE Power & Energy Magazine*, 2004(2): 24~33
- [3] C.C. Chan. The State of the Art of Electric Vehicles [J]. *Journal of Asian Electric Vehicles*, 2004(2): 579~600
- [4] Heliang Zhou. EV progress in China[A] (CDROM). In: Proceedings of 20th International Electric Vehicle Symposium and Exposition [C]. California: ECD Ovonic, 2003
- [5] Cheng Ximing, Lu Languang, Liu Mingji, Gao Dawei, Wang Haiyan, Pei Pucheng and Ouyang Minggao. A 50kW PEM Fuel Cell Engine Test System [A]. In: Proceedings of 3rd Asian Electric Vehicle Conference[C]. Seoul, March 2004
- [6] C C Chan, K T Chau. Modern Electric Vehicle Technology[M]. Oxford: Oxford University Press, 2001
- [7] Sun Liqing, Liu Yan, Chen Yong, Shi Peiji. Fuel Cell Progress and Its Application in Field of Transportation in China [C]. HFC 2004
- [8] Sun Liqing, Ji Wen, Chen Jie, Zhou Heliang. Overview of the EV Research in China[C]. IEE-VPP, 2004
- [9] Sun Liqing, Chen Jie. Review of R&D and Market Predication of Hybrid Electric Vehicle for Green Transportation [A]. In: Proceedings of World Engineers Convention (WEC2004) [C]. Shanghai, China

(责任编辑 胡春华)