

零排放电动汽车能源系统发展模式

谷亦杰^{1,4} 陈蕴博² 刘丹³ 李滨滨¹ 李文康¹ 黄小文¹ 刘秀波⁵ 张军¹

(1. 山东科技大学材料学院 青岛 266510; 2. 机械科学研究院先进制造技术中心 北京 100044;
3. 中国机械科学研究院浙江分院 杭州 310003; 4. 浙江应用工程材料研究所 浙江 310003;
5. 中国科学院力学所 北京 100080)

摘要: 由于电动汽车在节能和环保方面的巨大优越性,它将会成为 21 世纪城市的重要交通工具。本文主要介绍了零排放电动汽车能源系统发展模式,指出该模式适合中国国情,是目前中国发展零排放电动汽车,推动该产业前进有效的方式。

关键词: 电动汽车 零排放 能源系统 燃料电池 锂离子电池

0 前言

随着科技的进步,人们的生活质量得以提高,但是,科技的发展对能源的巨大需要和对环境产生的负面影响也日益引起人们的高度重视。世界各国从保护环境和节约能源出发,从 20 世纪 70 年代起,世界发达国家均投入巨资进行电动汽车商业化开发和应用。

我国是能源消耗大国,已经从石油的出口国成为石油的进口国,目前我国日原油进口量达到 200 万桶左右,预计 2010 年之前,中国的原油进口量将超过日本。另一方面,为了减少尾气排放对大气的污染,我国相继出台了更严格的排放法规。因此,发展电动汽车,不仅是维护国家能源安全、保障社会持续发展的迫切需要,也可增强我国民族汽车工业在国际汽车行业中的竞争力,也是保障我国经济持续稳定发展的动力来源。

按电动汽车的动力能源来分,目前世界各国研制的电动汽车可以分为三类:1.纯电动汽车,该汽车的动力能源完全来自于蓄电池。纯电动汽车在车辆性能方面完全可以满足城市工况的使用需要,在动力性、可靠性方面已达到或接近燃油车辆的水平。2.混合型电动汽车,该汽车的动力能源来自于燃油内燃机和蓄电池电机。3.燃料电池电动汽车,该汽车的动力能源来自于燃料电池。近年来一些厂家,如戴姆勒-克莱斯勒、丰田、通用、本田、日产、福特等公司都开发了自己的燃料电池电动汽车(FCEV)。汽车界人士认为 FCEV 是汽车工业的一大革命,是 21 世纪真正的纯绿色环保车,是最具实际意义的环保车种。

我国已经在十五期间将发展电动车列为重大公关项目,不仅要在电池、电机和电动控制取得突破,而且要大力发展该产业。“十五”期间,我国在电动汽车研究方面共投入 24 亿元,“十一五”期间更有望增加到 50 亿元。“863 计划”中涉及这一领域的投资达 10 亿元人民币。另外在研发宏观上提出了区别对待电动车的整体思路:纯电动车要突破关键技术,实现产业初始化;混合动力车批量上马;燃料电动车作为中长期发展目标。这一思路与国际发达国家的研发思路是基本吻合的[1]。

1 各种电动汽车的特点

纯电动汽车车型已经进入批量生产阶段。1986~1990 年,福特汽车公司和通用电气公司联合开发了 EXE-I ,EXE-II 电动车。1990 年通用汽车公司为批量生产所推出的 IMPACT 电动车,一次充电续驶里程达 190km。东京电力公司 1988 年联合日本电池公司共同开发“Iza”电动汽车,体现了当时最新技术水平:空载

¹谷亦杰,男,1972 年生,博士,教授,山东科技大学材料学院, guyijie@sdust.edu.cn, 青岛自然科学基金 04-2-JZ-102

量 1573kg, 装有 288V 镍镉电池, 4 台直流无刷电机, 输出功率为 100kW, 最高车速 176km/h, 每次充电后可以 40km/h 行驶 548km。日产汽车公司 1998 年在日本和美国销售的 AL-TRA 电动车采用锂电池, 循环寿命长, 可反复使用 1200 次。1997 年法国雷诺公司也推出装锂电池的标致 106 电动车。大众汽车公司在第 18 届国际电动汽车展会上推出了 BoraHymotion 电动车。其中能量来自 300kg 的充电电池, 在 12s 内可从 0 加速到 100km/h, 最高车速 140km/h[2]。我国目前纯电动轿车和纯电动客车均已通过国家质检中心的型式认证试验, 各项指标均满足有关国家标准和企业标准的规定。天津清源电动车辆有限公司等单位研发的纯电动轿车。其整车的动力性、经济性、续驶里程、噪声等指标已超过法国雪铁龙公司赠送的纯电动轿车和箱式货车, 初步形成了关键技术的研发能力: 北京理工大学等单位初步完成了北京理工科凌电动车辆股份有限公司密云电动车辆产业化生产基地的建设。并于 2003 年 12 月 30 日顺利通过北京市公共交通总公司组织的示范运行车组验收。小批量研发生产的 4 种车型、近 40 辆公交车即将投入北京市奥运电动示范车队的示范运行。纯电动汽车一次性充满电可以行驶 200-300km, 这与内燃机一次加油后可行驶 500km 左右有一定的区别。但是, 限制纯电动汽车快速推向市场的最大阻力来自于纯电动汽车中使用的蓄电池不能快速充电。蓄电池按 1C 充放电会造成蓄电池容量的减少, 但对蓄电池来说已经是比较快的充电速度 (1C 充放表示需要 1 小时把蓄电池充满电) 相比内燃机加油时间 (5min), 时间相对来说太长。如果采用更换电池的方法更换电量耗尽的电池, 必须到专门的电池更换公司去更换, 这要求该公司拥有很多的蓄电池, 由于目前纯电动汽车采用的电池为高能量的锂离子电池和镍氢电池, 价格比较高, 对更换蓄电池的公司来说, 运营风险比较大, 而且, 随着燃料电池逐步进入市场, 增加了公司的风险。

混合动力汽车已经走向市场, 并占有一席之地。1997 年 12 月, 丰田汽车公司首先在日本市场上推出了世界上第一款批量生产的混合动力轿车 PRIUS。该轿车于 2000 年 7 月开始出口北美, 同年 9 月开始出口欧洲, 现在已经在全世界 20 多个国家上市销售。目前推出的产品已经是多次改进后的第二代产品, 其生产工艺更为成熟。根据丰田汽车公司的测试, PRIUS 轿车在城市工况下比同等排量的花冠轿车节油 44.4%; 在市郊节油 29.7%, 综合节油 40.5%。有关统计数据显示, 丰田汽车公司已占有全球混合动力汽车市场 90% 的份额。2004 年 9 月 15 日, 一汽集团与日本丰田汽车公司在北京举行了混合动力汽车合作项目签字仪式, 宣布双方在 2005 年内, 共同生产丰田 PRIUS 混合动力轿车。丰田汽车公司还推出了 ESTIMA 混合动力汽车和搭载软混合动力系统的 CROWN 轿车。本田汽车公司开发的 Insight 混合动力电动汽车也已投放市场, 供不应求。2002 年 4 月, 本田汽车公司在美国市场上投放了 Civic 混合动力汽车。日产汽车公司近日宣布, 将于 2006 年向美国市场销售 Ahima 牌混合动力汽车。美国也不甘示弱, 通用汽车公司投入 1.48 亿美元, 福特汽车公司投入 1.38 亿美元, 克莱斯勒汽车公司投入 8480 万美元, 进行为期 5 年的研制开发工作, 并于 1998 年北美国际汽车展上展出了样车。在此基础上, 现已推出三款混合动力概念车 GM Precept、Ford Prodigy、Daimler chrysler Dodge ESX3。2004 年 12 月 14 日, 通用汽车公司与戴姆勒-克莱斯勒汽车公司对外宣布。双方将在开发混合动力电动汽车的技术领域携手, 共同推进此项技术的发展。欧洲在混合动力电动汽车的开发方面竞争激烈。法国雷诺公司推出 Vert 和 Hymme 两种型号的混合动力电动汽车, 并进行 1 万 km 的试运行。沃尔沃 FL6 货车改制成混合动力电动汽车。德国小批量生产了 Duo 并联式混合动力电动汽车, 在斯图加特和威赛尔市已有数十辆混合动力电动大客车投入运营。混合动力电动汽车用常规内燃机作动力, 又可用电机驱动, 与传统汽车和纯电动汽车相比, 可节约燃油 30%~50%, 节约电能 70%~90%, 持续行驶里程达~500km。从混合动力汽车的发展来看, 它满足了市场的要求, 得到了比较快的发展。它具有比较低的空气污染物排放量, 在一定程度上满足了能源与环保的要求, 在电动汽车阶段发展中将占据主导地位, 但是, 它不能满足人类对保护环境所提出精益求精要求。

目前, 燃料电池电动汽车还处在研究、开发阶段。美国通用汽车公司在美国能源部的资助下, 推出了以质子交换膜燃料电池 (PEMFC, 也称为离子交换膜燃料电池或固体高聚合物电解质燃料电池) 和蓄电池并用提供动力的轿车。美国福特汽车公司现已研制出从汽油中提取氢的新型燃料电池, 其燃料效率比内燃机提高 1 倍, 而产生的污染则只有内燃机的 5%。美国的 PNGV 计划虽然取得了不少成果, 但布什政府认为: 要实现批量生产几乎接近零排放的超节能汽车困难极大, 产业化前景很不明朗, 因而将 PNGV 主攻方向调整为研发和生产燃料电池汽车, 即将 PNGV 演变成了 FreedomCar, 2002 年 FCV 研制经费预算为 1.27 亿美元。1997 年, 戴姆勒-奔驰公司开发了 NEBAS 燃料电池大客车。最高车速 94km/h, 续驶里程 400km。2001 年, 日本本田公司先后研制 FCX-3V 和 FCX-4V 燃料电池电动车。日本预测 2010 年本土将有 5 万辆燃料电池客车

上路,为此日本政府将投资 3180 万美元推动这一计划。加拿大 Ballard 公司独占鳌头,1993 年推出世界上第 1 台以 120kW PEMFC 为电池动力的公共汽车示范车,并先后与美国、德国和日本各大汽车公司合作开发燃料电池汽车,并专门成立了子公司 Ballard automotive 进行车用 PEMFC 电池组的研究开发。目前已经研制出 Mark900 电池组,占领着世界电动车燃料电池发动机的市场。而 Ballard 战略联盟之一—戴姆勒-克莱斯勒控股的 DBB 则专攻燃料电池发动机系统(包括氢源、燃料电池及其辅助系统)集成,1996 年完成的以 H₂ 为燃料的 PEMFC 汽车 NECAR II 中,PEMFC 系统(50kW)占用 450 升;而 1997 年完成的采用甲醇重整气为燃料的 PEMFC 汽车 NECAR III,PEMFC 与重整系统(50kW)占 960 升。接着该公司成功利用燃料电池技术,制成首辆可驾驶的零污染环保汽车—“NECAR IV”,该车在满能源情况下可连续行驶 450km,最高时速可达 145km/h。价格昂贵是燃料电池电动汽车发展的最大阻力,每辆 NECAR III 燃料电池电动汽车的价格大约在 30 万美元。

2 零排放电动汽车能源系统发展模式

在电动汽车发展的过程中,世界各国都投入了大量的资金和科研力量,到目前为止,只有混合动力汽车的发展比较成功。从电动车的发展史来看,零排放电动汽车是人类的最终要求,发展零排放电池电动车是电动汽车必然之路。

驱动一辆纯电动汽车所需电池质量由于电动汽车技术含量不同,并不一样。纯电动汽车每公里能量日本纯电动汽车所需要的质量最小。如果纯电动汽车行驶的里程达到~250km,大约需要比能量最高的锂离子电池 300kg,从目前锂离子电池的成本考虑,这需要大约 10000\$。根据世界不同国家推出的质子膜燃料电池电动汽车的情况,由于采用的技术各有特色,功率各不相同。如果一辆轿车所需功率大约在 50kW,每提供 1kW 功率的成本在~3000\$,那么,一辆燃料电动轿车电池价格在 150000\$。

如果零排放电动汽车采用能量比最高锂离子蓄电池和质子膜燃料电池作为能源系统。在目前阶段,电动汽车能源系统采用 80%的锂离子电池和 20%质子膜燃料电池,随着时间的推移,质子膜燃料电池在整个电池中所占比重增加,假定 20 年后电动汽车能源系统由 20%的锂离子电池和 80%质子膜燃料电池构成。图 1 为这种零排放驱动电动汽车动力电池随时间的价格变化。

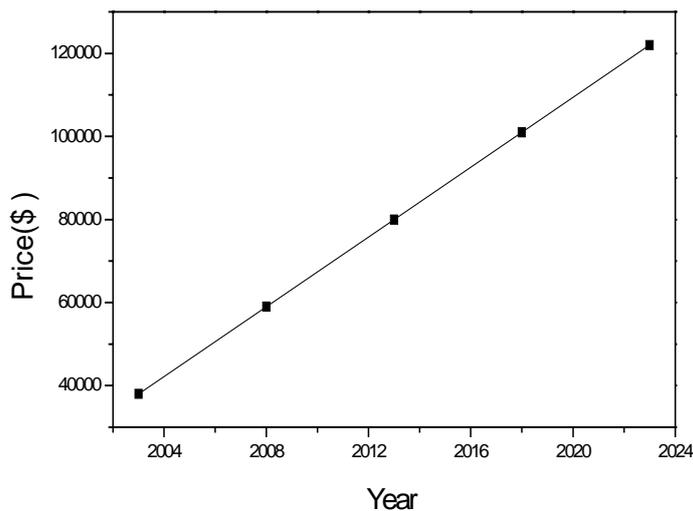


图 1 零排放驱动电动汽车动力电池随时间的价格变化

考虑我国在 21 世纪初宣布在 20 年内，我国的 GDP 总量将翻两翻，2005 年我国 GDP 达到 22257 亿美元，到 2026 年，我国的 GDP 总量将达到 40000 亿美元。设定参数 δ =电动汽车电池价格/每年的 GDP 总量，如果假定我国在下一个 20 年中，每年 GDP 增加量相等，在图 2 中纵坐标的数值等于构成电动汽车电池价格比。每年的 GDP 总量，由图 2 可以得到随着时间的增加，电动汽车电池价格比每年的 GDP 总量在减少。这说明，随着我国经济稳定健康的发展，虽然由于质子膜电池在整个电池的比重随着时间增加而造成的电池价格增加，但相比人民生活水平的提高是在减小。

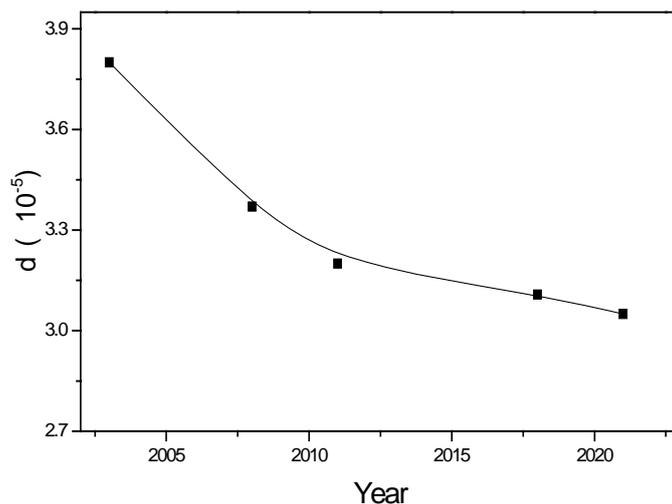


图 2 电动汽车电池价格比随时间变化曲线

科技的进步和生产的规模化将降低生产成本，预计质子膜燃料电池的价格到实际推向市场的价格为 200 \$/kW，根据科学家的预计，质子膜燃料电池最终推向市场为 10~20 年，假定在下一个 20 年中每年质子膜燃料电池价格下降相等，由于锂离子电池相对质子膜燃料电池价格很小，由于技术的进步造成的锂离子电池价格下降不与考虑。图 3 为考虑由于技术进步时，构成电动汽车电池随时间的变化趋势。图 4 为考虑我国特定的国家经济发展和技术的进步情况时，构成电动汽车电池随时间的变化趋势，由图 4 可以看到，在 2005 年电池的价格为 40000 \$，到 2023 年我国居民认为电池的价格仅为 2500 \$。

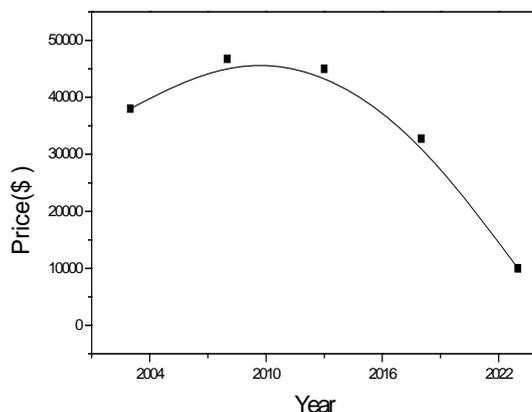


图3 考虑技术进步时构成电动汽车电池随时间的变化趋势

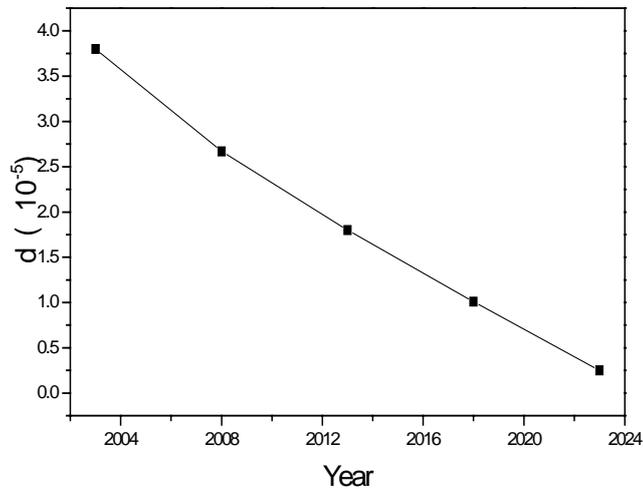


图4 考虑我国特定的国家经济发展和技术的进步情况时构成电动汽车电池随时间的变化趋势

由能量比最高锂离子蓄电池和质子膜燃料电池作为能源系统的电动汽车的能量在研究开发初期由80%的锂离子蓄电池和20%质子膜燃料电池提供，该汽车具有零排放的特点，对环境没有污染。电池的价格在~3.8万美元，两种电源完全补满能量的情况下，一次续航里程达到~300km。由于由双电源提供动力能源，因此爬坡能力强，能快速启动。该车在正常行驶时，由能源控制系统计算所需功率，合理调节两种电源的使用比例，使用原则是尽量使用由质子膜燃料电池提供的能量。汽车在正常行驶过程中，在良好的车况和路况下，所需功率比较低，单独由质子膜燃料电池提供的功率足够电动汽车的行驶。当质子膜燃料电池能量耗尽时，可由锂离子蓄电池单独提供能量，同时，可以对能量耗尽的质子膜燃料电池进行能源补充（需要建设能源补充设施）。该车能源系统提供了足够多的蓄电池能量，对锂离子一次充满电到电力耗尽时，质子膜燃料电池已经补充了1~N次能量，N的大小是车况和路况的函数。因此，该车一次充电行驶里程数大大增加，减少了充电次数，使人们由充裕的时间调节充电时机。在适当的时间（如夜晚），可对锂离子蓄电池进行充电，也不影响该车的正常使用。

由能量比最高锂离子蓄电池和质子膜燃料电池作为能源系统的电动汽车的能量在研究开发中期由50%的锂离子蓄电池和50%质子膜燃料电池提供，电池的价格在~4.5万美元（相对与我国经济发展来说为1.8万美元）。中期开发电动车具有初期电动车的大部分优点，该车一次充电行驶里程数与初期开发的零排放电动车相比有所增加（125km+250Nkm，N是车况和路况的函数）。同时对锂离子蓄电池的依赖减少，更方便人们的出行。

由能量比最高锂离子蓄电池和质子膜燃料电池作为能源系统的电动汽车的能量在研究开发中期由20%的锂离子蓄电池和80%质子膜燃料电池提供，电池的价格在~1万美元。该车的出行基本不受限制，由于技术的进步。到在此零排放电动车研发过程中，由于储氢技术和蓄电池技术的发展，一次加氢和充电的里程数将大于上述的预计。2023年，燃料电池一次充满能量后，行驶里程数将达到500~1000km。

当然，对零排放电动汽车能源系统发展模式来说，其中的锂离子蓄电池在适当的时间下，可由镍氢电池、铅酸电池或超高速飞轮替代。

3 结论

(1) 零排放电动汽车能源系统发展模式适合我国国情, 适当时机启动采用零排放电动汽车能源系统发展模式的电动汽车市场, 以此为契机, 开发出具有中国特色的零排放电动汽车。

(2) 零排放电动汽车能源系统发展模式有如下特点: 在开发电动汽车的初期, 电动汽车动力电源以蓄电池(包括锂离子电池、镍氢电池和铅酸电池)为主, 质子膜燃料电池为辅的特点; 在开发电动汽车的后期电动汽车动力电源具有以质子膜燃料电池为主, 蓄电池(包括锂离子电池、镍氢电池和铅酸电池)为辅的特点。

(3) 零排放电动汽车能源系统发展模式具有双电源驱动电动汽车的特征。

(4) 采用零排放电动汽车能源系统发展模式, 可以加快启动电动汽车市场, 带动电动汽车相关产业的发展, 符合当初人们设计电动汽车的初衷(减少对石油能源的依赖和降低对环境的污染)。

参 考 文 献

- 1 万钢. 中国电动汽车的现状和发展. 中国环保产业, 2003, 2: 30-33.
- 2 刘文湘. 我国电动汽车产业化发展的思考. 汽车研究与开发, 2003, 3: 7.

THE DEVELOPMENT MODE OF THE ENERGY SYSTEM ABOUT ZERO EXHAUST ELECTRIC VEHICLES

GU Yijie^{1, 4} CHEN Yunbo² LIU Dan³ LI Binbin¹ LI Wenkang¹
HUANG Xiaowen¹ LIU Xiubo⁵ ZHANG Jun¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510;

2. China Academy of Machinery Science and Technology, Beijing 100044;

3. Zhejiang Institute, China Academy of Machinery Science & Technology, Hangzhou 310003;

4. Department of Application Engineering Materials, Hangzhou 310003;

5. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract: Because of its great advantage over traditional vehicles in environmental protection and energy saving, the electric vehicles will become the main terrestrial vehicles in the 21st centuries. This paper mainly introduces the development mode of the energy system about zero exhaust electric vehicles and points that the mode is suit for the electric vehicles development conditions in china.

Key words: Electric vehicles Zero exhaust Energy system Fuel cell Li-ion cell