



# 大功率质子交换膜燃料电池 发动机及氢源技术

张华民\*

(大连化学物理研究所 大连 116023)

**关键词** 中国科学院,知识创新工程,重大项目,燃料电池,氢源技术

## 1 国内外研究开发现状

燃料电池是一种通过电极反应直接将储存在燃料和氧化剂中的化学能转变为电能的发电装置。燃料电池具有能源转化效率高、噪声低、环境友好,可实现能源多样化。

能源和环境是人类社会持续发展的重要基础,随着人类社会的发展和化石能源的枯竭以及环境污染的日益严峻,能源安全已成为关系到国家安全的重要问题。专家预计化石能源的可使用时间是30—40年,到21世纪50年代,人类社会将逐渐步入氢经济社会,而燃料电池技术是实现氢经济社会的基础。为此,美国、欧盟、日本等许多工业发达国家都制定了国家燃料电池和氢经济发展路线图。特别是美国政府还实施了一系列向氢经济社会过渡的计划。在2002年4月启动了“Freedom Car”计划,支持开发低成本、适合大规模生产的燃料电池汽车,支持建设国家氢能基础设施,支持降低石油消耗和环境污染的能源研究。其目的在于通过该计划的实施,国家从对石油的依赖中获得自由,从污染排放中获得自由,个人从对汽车的选择中获得自由。从而降低国家对石油的依赖,保证国家能源安全。2003年又启动了“Freedom Fuel”计划,资助燃料电池和氢能研究,准备向氢能过渡和燃料电池演示计划。美国政府对两计划共投资17亿美元。此外,还制定了总投入55亿美元为期10年的燃料电池商业化战略计划。2003年6月,修订了能源法案,为氢能和燃料电池项目提供30亿美元的资助。

我国对燃料电池技术也给予高度重视。2002年1月,在“863”高技术领域启动了电动汽车重大专项,其主要研究内容之一是燃料电池电动汽车。因此,我院在2001年启动知识创新工程重大项目“大功率质子交换膜燃料电池发动机及氢源技术”是非常必要和及时的,是有前瞻性的。

## 2 项目简介

我院高度重视氢能与燃料电池技术的研究开发。在2001年10月,经过专家的认真论证,启动了“大功率质子交换膜燃料电池发动机及氢源技术”知识创新工程重大项目。项目主持单位是大连化学物理研究所。该所张华民研究员担任项目主管,衣宝廉研究员担任项目科技专家。主要参加单位有:浙江大学、电工研究所、上海微系统与信息技术研究所、大连新源动力股份有限公司等。大连化学物理研究所承担质子交换膜燃料电池组及燃料电池发动机关键部件的研究开发、燃料电池发动机控制逻辑、控制策略设计、燃料电池发动机系统设计和集成、甲醇重整制氢系统;浙江大学承担车用空气压缩机的开发;上海微系统与信息技术研究所承担金属贮氢系统;电工研究所承担DC/DC变换器的研究开发。项目的主要目标是,在三年内研制出三种类型的燃料电池发动机-75kW纯氢/空气发动机、75kW甲醇重整/空气发动机、150kW纯氢/空气发动机,两种氢源-75kW甲醇重整制氢氢源和金属储氢氢源,以高压氢为氢源备用方案,实现发动机和燃料电系的集成。

\* 大连化学物理研究所研究员

收稿日期:2003年12月26日



### 3 主要进展

项目实施两年多来,经过科技人员的努力拼搏,协力攻关,项目取得了许多重大突破。主要表现在:

#### 3.1 燃料电池组关键材料、关键技术的进步

(1)研制出高性能、低成本、氢/空气膜电极三合一组件。在“九五”期间,院燃料电池的研究重点是纯氢/纯氧燃料电池,对空气为氧化剂的氢/空气燃料电池研究不多。为开发大功率电动汽车用燃料电池发动机,首先组织对高性能氢/空气膜电极三合一技术攻关,通过优化电极孔分布,改善气体扩散性;调整亲水-憎水孔比例,改善水传递等系列的技术改进;研制出高分散性,低Pt担载量,高性能的空气电极。发明了亲水/憎水复合电极结构,使膜电极三合一的功率密度由原来的 $0.3\text{W}/\text{cm}^2$ 提高到 $1.0\text{W}/\text{cm}^2$ 。为了降低三合一的成本,选择廉价的工业过滤用碳纸代替国际上广泛采用的日本Toray碳纸作电极支撑体(气体扩散层),使气体扩散层碳纸的成本比使用Toray碳纸降低了80%以上,膜电极三合一的性能与使用日本Toray碳纸相同,达到了国际先进水平。

(2)开发出低成本、易于批量生产的石墨/金属双极板。在项目实施过程中,我们把批量化生产和产业化作为开发工作的重点之一。在“九五”开发的金属双极板的基础上,开发出可采用线切割及冲压或模压方法制造的金属/石墨复合双极板。该复合双极板的特点是材料成本和加工成本低,易于批量生产,有利于产业化。

(3)开发出高性能电池组。我院在“九五”期间,开发出100W—30kW级氢/纯氧燃料电池组。通过本项目的实施,开发出20kW、25kW和50kW氢/空气燃料电池模块,由此组装出功率为50kW、75kW、100kW的氢/空气燃料电池发动机。采用燃料电池模块,不同功率的燃料电池发动机,可由数个电池模块组合而成,不仅便于生产和装配,而且便于维修。

#### 3.2 燃料电池发动机系统关键部件

燃料电池发动机系统包括空气供应子系统、氢

气供应子系统、电池组子系统、水管理子系统、热管理子系统、氢气循环子系统及控制子系统等组成。通过本项目的实施,我们在发动机系统关键部件方面取得了技术突破。主要表现在以下几个方面:

(1)车用空气压缩机。大流量空气压缩机是车用燃料电池发动机的关键部件之一,目前国际上只有少数著名汽车公司通过合作,开发出本公司专用的空气压缩机。但对空气压缩机严格技术保密,经多方努力,无法购买到适合于车用燃料电池发动机的空气压缩机。通过本项目的启动,浙江大学与大连化学物理研究所合作,在2002年研制出我国第一代车用燃料电池空气压缩机,填补了国内空白,成功地用于75kW城市客车和50kW轿车用燃料电池发动机。但是第一代空气压缩机的供气量为 $250\text{m}^3/\text{h}$ ,功耗为25kW,供气量相对较低,功耗较大。为此,在第一代空气压缩机的基础上做了进一步的改进、优化。在2003年,研制出第二代直刷直流电机单螺杆空气压缩机,供气量达到 $380\text{m}^3/\text{h}$ ,功耗为22kW,与第一代空气压缩机相比,性能有了明显提高。

(2)毫秒级电池组单电池电压巡检仪。燃料电池组各单电池电压的高低和各单电池电压的均一性是评价燃料电池性能和预测控制燃料电池运行状态的重要参数。2002年,研制出燃料电池单电压巡检系统,该巡检系统检测精度高、速度快,能在300ms内同时检测并显示出600节单电池的电压。2003年7月又成功开发出第二代车用小型巡检系统。

(3)燃料电池发动机电子控制单元(ECU)系统。根据汽车对燃料电池发动机的要求,设计优化出燃料电池发动机的控制策略和控制逻辑。在此基础上研制出车用燃料电池发动机电子控制单元(ECU)系统,采用了变压运行、模糊控制、智能自保护等技术,满足了燃料电池车运行的需要。

### 4 燃料电池发动机系统集成

燃料电池发动机是一个复杂的系统工程,燃料电池发动机主要由空气供应子系统、氢气供应子系统、电池组子系统、热管理子系统、水管理子系统、



控制子系统构成。

“九五”期间,我们利用 6 台 5kW 的纯氢 / 纯氧组装出 30kW 手动燃料电池发动机。在本项目及“863”电动汽车重大专项的支持下,在燃料电池发动机系统集成方面取得了突破性进展。2002 年成功研发出燃料电池组功率为 75kw 的第二代闭环全自动控制的燃料电池发动机,并且与清华大学等单位合作,研制成功由燃料电池发动机驱动的第一台城市客车(图 1)。电池组效率大于 60%,氢气利用率大于 97%,达到国际水平。但由于发动机的功耗较大,发动机的净输出效率为 41%。2003 年又成功的研制出电池组功率为 100kW 的第三代燃料电池发动机, 电池组效率大于 60%, 氢气利用率大于 98%(图 2)。

中国科学院燃料电池技术的发展得到了国际燃料电池界的高度关注和很高的评价。2002 年 10 月,受中德中心的委托,由院重大项目主管担任组委会主席,在大连召开了首届中德燃料电池高层学术研讨会,邀请了 15 名德方燃料电池专家和 25 名中方专家出席会议,不仅进行了学术交流,而且就双方感兴趣的领域进行了广泛的沟通。2003 年 4 月,又在德国召开了第二届研讨会,双方科学家提出了 18 项合作项目,经德方组织专家评审,确定了

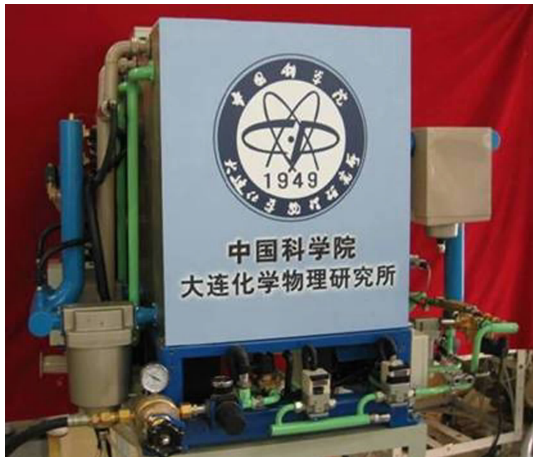


图 2 100kW 氢 / 空气燃料电池发动机

6 项国际合作项目, 其中大连化学物理研究所燃料电池工程中心就获得了 3 项。2003 年 10 月,大连化学物理研究所与韩国三星综合技术研究院成立了 DICP-SAID 燃料电池联合实验室。现在正和英国 BP 公司、日本三菱公司等单位合作,筹建氢能和燃料电池示范演示基地。

今后我们将在院重大项目领导小组的指导下,进一步提高燃料电池发动机的可靠性、耐久性和实用性。开发燃料电池关键材料、关键部件的批量化生产工艺,开展氢能和燃料电池演示运行,普及教育,推进燃料电池实用化和产业化进程。



图 1 75kW 燃料电池城市客车