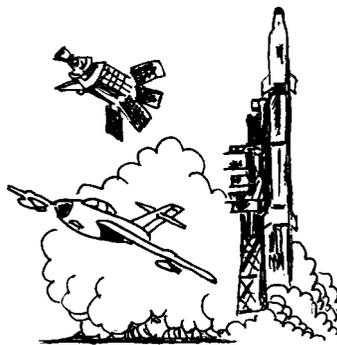


燃料电池的应用和发展

石新军



燃料电池(fuel cells, FCs)是继火电、水电和核电之后的第四代发电技术。它是一种将储存在燃料(如氢气)和氧化剂(如氧气)中的化学能,通过电化学反应过程直接转化为电能,的电化学发电装置。它是唯一同时兼备无污染、高效率、适用广、无噪声和具有连续工作和模块化的动力装置,被认为是 21 世纪最有发展前景的高效清洁发电技术。

表 1 5 种燃料电池的主要特征

燃料电池	典型电解质	工作温度(℃)	优点	缺点	转换效率(%)
碱性燃料电池	KOH、H ₂ O	80	启动快、室温常压下工作	需以纯氧作氧化剂、成本高	70
磷酸燃料电池	H ₃ PO ₄	200	对 CO ₂ 不敏感	对 CO 敏感、工作温度高、成本高、低于峰值功率输出时性能下降	40
固体氧化物燃料电池	ZrO ₂ Y ₂ O ₃	1000	可用空气作氧化剂、可用天然气或甲烷作燃料	工作温度过高	> 60
熔融碳酸盐燃料电池	Na ₂ CO ₃	650	可用空气作氧化剂、可用天然气或甲烷作燃料	工作温度过高	> 60
质子交换膜燃料电池	含氟质子交换膜	80~ 100	寿命长、可用空气作氧化剂、室温工作、比功率大、启动迅速、输出功率可随意调整	对 CO 非常敏感、反应物需要加湿	60

燃料电池已有 160 多年的发展史。早在 1839 年,英国学者格罗夫(W. R. Grove)就首先提出通过

等其他新技术的发展过程中,物理科学研究成果也同样起到了很大的作用。可以说没有物理科学的创新成果,就不可能有这些新技术的发明或迅速发展。而且在 21 世纪的今天,我们仍然可以看到,在物理科学研究的新成果带动下,许多领域的应用科学技术得到了进一步发展,并出现了一个又一个新的产业部门,其影响遍及生产、科研、国防、医学,乃至每

氢和氧的电化学反应发电的原理。直到 20 世纪 60 年代,随着航天工业的发展,燃料电池作为主电源系统被成功应用到航天飞行中。经过百年的发展历程,燃料电池在国防、航天和民用的移动电站、分立电源、潜艇、电动车、计算机与通信等众多领域具有非常广泛的应用前景和巨大的市场潜力。随着科技进步和氢能技术的全面发展,燃料电池将会深入到人类活动的各个领域,直至走进千家万户。因此,氢能利用和燃料电池技术研究开发的重要意义,已受到世界各国的普遍关注和高度重视。

根据工作温度的不同,可将燃料电池分为低温(工作温度低于 100℃)、中温(工作温度在 100~300℃)和高温(工作温度在 600~1000℃)三种。而最常用的是根据燃料电池所用电解质分类,据此可分为 5 种主要类型,即碱性燃料电池(AFC)、磷酸型燃料电池(PAFC)、固体氧化物燃料电池(SOFC)、熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)和质子交换膜燃料电池(PEMFC)。其中后 3 种燃料电池是目前世界各国竞相研究开发的重点。表 1 列出了上述 5 种燃料电池的主要特点。

燃料电池的工作原理及特点

燃料电池是一种电化学装置,其组成与一般电池相同。单体燃料电池是由正负两个电极(负极即燃料电极,正极即氧化剂电极)以及电解质组成。不同的是,一般电池的活性物质贮存在电池内部,电池容量因此受到限制。而燃料电池的正、负极本身不

一个家庭,大大改变了当代社会的结构和面貌,甚至影响到人们的思维方式。历史和经验告诉我们,无论是过去,还是现在,乃至将来,社会和经济的发展总是离不开科学技术的进步,科学技术的进步离不开物理科学的创新成果,而物理科学的创新成果,靠的是具有高素质的物理科学人才。

(广东梅州嘉应学院物理系 514015)

包含活性物质,只是个催化转换元件。因此燃料电池是把化学能转化为电能能量转换机器。电池工作时,燃料和氧化剂由外部供给,发生反应。原则上只要反应物不断输入,反应产物就不断排出,燃料电池就能连续发电。这里以氢-氧燃料电池为例说明燃料电池的基本工作原理,图1是组成氢-氧燃料电池的基本单元示意图。其阳极为氢电极,阴极为氧电极。

通常,阳极和阴极上都含有一定的催化剂,目的是用来加速电极上发生的电化学反应。燃料电池的工作原理如下。

①氢气通过管道或导气板到达阳极,在阳极催化剂的作用下,1个氢分子解离为2个氢离子(即质子),并释放出2个电子,阳极反应为 $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ 。

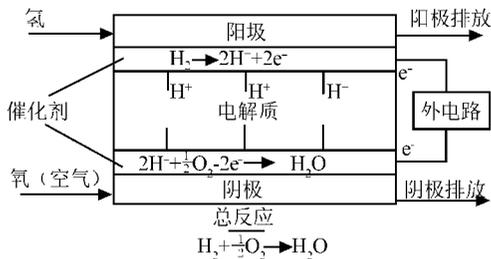


图1 组成燃料电池的基本单元示意图

②在电池的另一端,氧气(或空气)通过管道或导气板到达阴极;同时,氢离子穿过电解质到达阴极,电子通过外电路也到达阴极。

③在阴极催化剂的作用下,氧与氢离子和电子发生反应生成水,阴极反应为 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 。总的化学反应为 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 。

与此同时,电子在外电路的连接下形成电流,通过适当连接可以向负载输出电能。当然,只有燃料电池本体还不能工作,必须有一套相应的辅助系统,包括反应剂供给系统、排热系统、排水系统、电性能控制系统及安全装置等。

由于燃料电池能将燃料的化学能直接转化为电能,综合了常规电池和内燃机的优点,克服了它们的缺点,因此具有特殊的生命力。综合起来,它具有以下优点。

①由于燃料电池的工作原理是建立在电化学理论之上,不受热机效率的限制,所以其效率是内燃机效率的2~3倍。

②参与的化学反应是氢(燃料)和氧(空气),生成物是水,所以完全没有污染。

成物是水,所以完全没有污染。

③它不同于常规电池,燃料电池是一种发电装置、能量转换装置,而不是能量存储装置,所以不需要充电,运行时间长。

④燃料电池的工作没有机械运动,所以不会产生噪音。

⑤燃料电池的电极和一般电池的电极不同,它只是化学反应的场所和电流的通道,并不参与化学反应,因此没有电极损耗,工作可靠,寿命长,一般可达5万~10万小时。

⑥燃料电池除了可用氢气作燃料外,还可用天然气、煤气、甲醇等作燃料,因而其燃料具有多样性。

⑦由于采用模块化结构,燃料电池发电装置可根据所需发电规模由多个单电池组合而成,电池组的组装和维护都非常方便,因而可靠性较高。

由于燃料电池具有以上优点,尤其是无污染,因此受到世界各国的广泛重视。在21世纪,燃料电池必将部分取代内燃机和常规电池,成为能源工业的一支新军。目前,有关燃料电池燃料与供应系统的研究开发已成为众多相关学科与技术领域的一个重大课题。

燃料电池的应用

由于燃料电池的诸多特性使其广泛应用于电动汽车、航天飞机、潜艇、通讯系统、中小规模电站、家用电源,以及其他需要移动电源的场所。以下是应用的几个方面。

汽车工业 车用燃料电池所具有的效率、启动快、环保性好、响应速度快等优点,使其当仁不让地成为21世纪汽车动力源的最佳选择,是取代汽车内燃机的理想解决方案。从燃料电池的发展势头看,汽车内燃机的生产将会在21世纪中叶终止。燃料电池汽车的最大优点是清洁、无污染,所排出的唯一废物是水。在全球环境保护问题日益突出的今天,燃料电池汽车作为环保型汽车越来越受到人们的重视。世界各大汽车制造厂商普遍认为,近期真正有可能取代传统汽车的清洁交通工具,只能是燃料电池汽车,“燃料电池就是汽车工业的未来”。近几年燃料电池汽车的发展势头大大超过了蓄电池电动汽车。随着大规模应用前景的显现,美国、欧洲和日本的汽车制造厂商都在加紧开发车用燃料电池技术;预计三四年后,燃料电池汽车将会进入批量生产阶段,并投放市场。依据燃料的不同,汽车用燃料电

池可分为氢燃料电池、甲醇燃料电池、乙醇燃料电池、汽油燃料电池。



图 2 几种典型燃料电池汽车

图 2A 是通用汽车公司在 2001 年法兰克福汽车展上展出的新型氢燃料电池车“氢动三号”。其主要性能为：液体氢罐容量为 68 L、氢储存量为 4.6 kg，燃料电池组的尺寸为 472 mm × 251 mm × 496 mm、额定输出功率为 94 kW，驱动电机的输出功率为 60 kW、最高速度为 150 km、连续行驶距离为 400 km。

图 2B 是戴姆勒-克莱斯勒集团 2000 年 11 月 7 日，在柏林推出的一种甲醇燃料电池新车型 NECAR5。它是以奔驰 A 级车为基础改装的，配备了加拿大巴拉德公司的最新质子交换膜燃料电池，采用甲醇来制取氢，燃料电池组最大输出功率为 75 kW、最高车速为 150 km/h、一次充注续航里程为 450 km；燃料电池的效率比以往测试车型提高了 50%，同时驱动系统的体积显著减小，重量也大幅度减轻。

图 2C 是日本马自达与美国福特汽车公司在小型轿车“Premacy”的基础上，联合开发的乙醇燃料电池车“Premacy-FG-EV”。这辆可坐 5 人、用乙醇作

燃料的环保车已得到日本交通部批准获得汽车牌照，并开始在日本国内进行公路越野试验。其引擎的输出功率为 65 kW。此外，马自达将使用开发的燃料电池车参加日石三菱及戴姆勒等共同开展的燃料汽车越野试验计划。

图 2D 是丰田汽车公司在 2001 年第 35 届东京汽车展上展出的新型汽油燃料电池汽车“FCHV-5”，它是用改质型汽油类燃料的清洁碳氢化合物燃料来制取氢气的。丰田将改质器做得更小并安装在汽车底板下，其尺寸为宽 600mm、厚 880mm、高 200mm。据说丰田目前已开始在车辆中安装这种改质器进行行驶试验。不过，丰田觉得这一尺寸仍然略大，准备进一步将其缩小到现在的 1/3 左右，以便能够安装到引擎室中。

能源发电 普遍认为燃料电池发电系统是未来最有吸引力的发电方法之一，它的能量转换效率高、燃料使用和场址选择灵活、污染物排放量很少。美国国家科技委员会人士指出：“燃料电池将结束火力发电时代。”目前国外重点开发能源发电的有以下几种燃料电池。

磷酸盐燃料电池：美国已经完成 12~200 千瓦级就地发电装置现场试验，技术趋于成熟，已可作为商品出售。日本自 1981~1990 年进行集中研究，目前 5 兆瓦级加压型和 1 兆瓦级常压型电厂已投入运行。

熔融碳酸盐燃料电池：从 1987 年开始，美国燃料电池研究重点已由磷酸盐型转向高温熔融碳酸盐型。截至 1993 年完成 70 kW、120 kW 级熔融碳酸盐燃料电堆的评估试验，第一座演示性 200 kW 电站已于 1994 年底运转，1998 年开始出售正式产品。

质子交换膜燃料电池：加拿大巴拉德公司和世界许多著名公司共同合作开发千瓦级以下的燃料电池发电厂。经过 5 年研发，第一座 250 kW 发电厂于 1997 年 8 月成功发电，1999 年 9 月运至美国，经过周密测试和评估，在提高设计性能与降低成本的基础上，第二座电厂诞生，现安装在柏林，输出功率为 250 kW，也是在欧洲的第一次测试。很快巴拉德公司第三座 250 kW 电厂也于 2000 年 9 月出现在瑞士的测试现场，2000 年 10 月第四座燃料电池电厂在日本 NTT 公司安装完成，开拓了亚洲市场，促进了其商业化进程。第一个早期商业化电厂已在 2001 年底面市。

固体氧化物燃料电池:在固定电站领域,被称为第三代燃料电池的固体氧化物燃料电池,正在积极的研制和开发中,是蓬勃兴起的新型发电方式之一。壳牌氢气和西门子、西屋电力公司联手,开发和销售一种独具特色的、以天然气为燃料的发电技术。该技术结合并应用了高温固体氧化物燃料电池,以及壳牌公司开发的二氧化碳清除技术,它不产生导致温室效应的气体。除了电力以外,这种先进的装置只产生水和纯 CO₂。CO₂ 将被注入废弃的油气贮藏池,在此永久“归隐”,以取代曾埋藏在海底达数百万年之久的碳氢化合物。与常规发电技术相比,对发电量达 10 兆瓦级的发电厂而言,新型固体氧化物燃料电池发电技术能更有效地利用燃料,且成本更低廉、占地更少。

我国在开发燃料电池能源发电方面也做出了可喜的成绩。最近,上海交大结合我国在 21 世纪能源发展的多元化趋势,吸收了国内外宝贵经验,率先在国内成功进行了 1 千瓦~ 1.5 千瓦的熔融碳酸盐燃料电池发电实验。2001 年 7 月,该项目通过成果鉴定。该电池组连续工作达 300 小时,最大输出功率 1060 瓦以上,电池组平均电池密度达 148.8 mA/cm²。

船舶工业 原则上讲,所有燃料电池都适用于水面舰船的发电和(或)推进系统。这些燃料电池所用的燃料有氢气、富氢气体(如甲烷)或液态碳氢化合物(如甲醇、柴油),后者必须经过适当的重整才能用于燃料电池系统。

美国海军 1995 年完成的一项燃料电池技术在用作船用电网和推进系统时,就其对驱逐舰和小型护卫舰等海军战舰的设计性能及其影响进行了评价研究。1998 年美国海事署对燃料电池在集装箱船上的应用进行了研究,该船所需总动力为 5440 kW,它具备在集装箱内贮存加压天然气(LNG)的所有必要条件。在 8×40 ft 型的集装箱船中所装载的天然气燃料,能够行驶大约 560 海里(1 海里≈1.852 千米),它比使用柴油约便宜了 30%,但缺点是熔融碳酸盐燃料电池的预期寿命不长,在船上只能运行大约 5 年时间。

德国西门子公司一直进行着潜艇动力电源的研究,在 212 级潜艇使用的质子交换膜燃料电池单元基础上,最近又研制出 120 千瓦单元。此单元功率密度可达 280 和 300W/kg,从 2000 年开始批量生产。另外,西门子公司还研制了 30~45 千瓦氢-空

气燃料电池单元,它用贮存在舰艇上的氢或柴油液体燃料重整制得的氢来工作,在 2000 年已用于水面舰艇。2003 年建成的 Class 212 型潜艇,带有一套 300kW 的供电装置,依靠一个甲醇裂解炉产生氢气,巡航速度可达 8 海里/小时,氧气储备可供燃料电池、裂解器和全体船员呼吸使用,发电效率达 70%。

航天工业 60 年代,燃料电池成功地应用于阿波罗登月飞船。从 60 年代开始,氢氧燃料电池广泛应用于宇航领域。

美国飞机制造业巨头波音公司与设在西班牙马德里的波音技术研究开发中心等联合研制一种使用环保燃料电池的电动飞机。波音公司表示,研制这种电动飞机,主要是想检测燃料电池在航空领域应用的潜力。此项研究的最终目的并不是用燃料电池和电动马达来取代现有民航飞机的引擎,而只是取代现有飞机引擎的辅助动力系统。该系统位于飞机尾部,主要提供飞机在陆地上行驶所需动力以及在飞行中提供辅助电力。与现有的燃油辅助动力系统相比,燃料电池系统噪音更低,更加清洁、高效,它使用同样的燃料能生产双倍电力,因此可以大大减少航空运输对环境的污染。波音公司飞机新产品开发部的首席工程师迈克·弗兰德说,燃料电池是一种潜力巨大的新技术,它在未来民航飞机上的应用前景广阔。

移动通信 未来数年内,新的动力之源——迷你型燃料电池将成为最抢手的便携设备电源,它将带来电池能源的革命,在手机、笔记本电脑、掌上电脑等电子产品上都将出现它小巧的身影。

高分子型燃料电池手机:2001 年日本电器公司试制了一种新型高分子型燃料电池,看上去就像是一块饼干。它的原理是如同打火机装油一样,从注油口注入燃料补充电力,以供长期使用。手机有了它,可以使用 1 个月以上,电脑则可连续使用数天。

甲醇燃料电池手机:摩托罗拉及美国洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)国家实验室联合开发了一种微型燃料电池,预计这种电池终有一天取代目前使用的传统电池,被各种各样的电子产品用作电源,包括手机、笔记本电脑、手持式照相机、电子游戏机等,此种电池的底面尺寸约为 1 平方英寸、厚度小于 0.90 英寸。使用液体甲醇作燃料,可以十分方便地安装在各种电子产品内。电池的能量密度超过传统充电电池的 10 倍。预计 3~5 年后,体积将明显小于目前

的充电电池,价格也将大大低于如今的充电电池。

乙醇燃料电池手机:以色列密迪斯技术公司(Medis Technologies)则采取截然不同的方法——采用液态电解质,它与法国手机制造商签订协议,正在兴建一座蓄电池厂,每年能生产5000万微型燃料电池。该电池以乙醇作燃料,对旅行者尤为适用。公司总经理风趣地说道:“我可以从饭店的冰箱拿出一瓶上好的伏特加酒,往燃料夹中倒一些,就可使用手机了!即使便宜的伏特加也能管用。”

机器人 美国南佛罗里达大学科学家已研制出了一种靠“吃肉”给体内补充电能的机器人。这种机器人看上去像一列小火车,有12只轮子,体内装有一块微生物燃料电池,为机器人运动和工作提供动力。这种微生物燃料电池可以通过细菌产生酶,消化肉类食物,然后把获取的能量再转化为电能,供给机器人使用。发明者威尔金森教授说,实验表明这个机器人“吃蔬菜”效果不佳,吃肉类食品最适宜。此外,这种机器人还可以“吃糖块”。发明者还说,这台机器人不会对人类构成任何威胁,因为并没有给它安装这类传感器。这种微生物燃料电池运用在机器人研究中尚属首次。

生物燃料电池的发展 最近,燃料电池技术又有了新的突破,英国科学家研制成功了生物燃料电池。一般燃料电池都用贵金属作为催化剂。这类催化剂都是稀有金属,因而价格昂贵。这一状况严重妨碍了大功率燃料电池和大型燃料电池的推广,对大型燃料电池发电厂的发展有着很大的负面影响。不久以前,英国肯特大学和牛津大学的科学家们合作,从细菌细胞中提炼出一种叫做甲醇脱氢酶的生物催化剂。这种酶能够加速氢气的释放,从而使电子数目大大增加。在酶催化剂的作用下,刚刚问世的生物燃料电池显示出功率大、体积小、效率高、成本低等突出优点。其能量转化效率高达60%~70%。生物燃料电池发展前途广阔,其实用化和商业化问题正处于进一步研究之中。

21世纪,氢能将取代煤、石油、天然气等矿物能源,人类将告别矿物能源时代,步入氢能时代。燃料电池作为把氢能直接转化为电能的洁净发电装置,即将大规模进入社会的各个领域。

燃料电池发展前景展望

燃料电池的开发研究以及商业化,是实现节能和环保的重要手段。燃料电池的先进性和实用性已

经得到公认,在加大对燃料电池的开发、研究与利用力度方面尽管还存在一些问题,比如电极材料、制造成本、催化剂等问题,但是瑕不掩瑜,加快燃料电池发展必然是世界发展的总趋势。在发展燃料电池过程中,应该根据各种不同燃料电池各自的优缺点和发展障碍,有针对性地展开适宜的研究,使各种燃料电池都能发挥应有的作用。

在全球面临着环境恶化和能源危机的情况下,我国加入同发达国家在清洁能源研究开发领域的战略竞争。“燃料电池发电技术”被列入《科技发展“十五”计划和2015年远景规划》。中国科学院启动科技创新战略行动计划重大项目——“大功率质子交换膜燃料电池发动机及氢源技术”。中科院和科技部为这项21世纪首选的洁净、高效的发电技术投资逾1亿元人民币。这标志着中国科学家在21世纪初为氢能时代的到来做好了准备。

21世纪被认为是氢能的时代。可以相信,随着科技进步和氢能技术的全面发展,燃料电池商业化进程中的问题会逐步得到妥善解决,其成本价格将会逐渐降低,燃料电池将会如计算机一样,深入到人类活动的各个领域,直至走进千家万户。

(广东武警广州指挥学院 510440)

科苑快讯

镍氧化物纳米管可提高
锂离子电池的电化学性能
澳大利亚伍伦贡大学(University of Wollongong)

的几位研究者通过模板程序合成了单一取向、排列整齐的镍氧化物(NiO)纳米管束,并用于锂离子电池,从而提高了其电化学性能。

每一根NiO纳米管长60微米,外侧直径200纳米,管壁厚20~30纳米。合成过程中,首先制成Ni(OH)₂纳米管,接着将其加热到350℃,使其充分转化为NiO纳米管。他们在把NiO纳米管粉末用于锂离子电池后,测定了电池的锂存储能力和电化学性能。他们发现,充放电20次后,NiO纳米管电极的放电能力超过标准NiO纳米晶体粉末电极30%。阻抗数据表明,与参考的NiO粉末电极系统相比,NiO纳米管电极使锂的扩散受到约束,并将这一过程持续下去,因而使其电化学性能得到提高。

(高凌云编译自 *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2006年第1期)