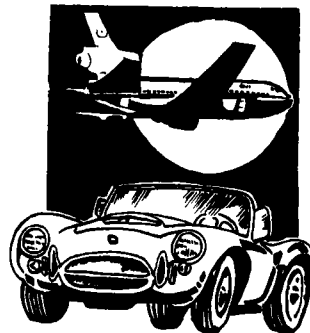


燃料电池——未来的动力

江 珊 孙雅静

(天津轻工业学院自动化系 天津 300222)



内燃机统治运输业和小规模能量的时代历时很长了,它能被什么取代好像是难以想象的。但对交通和环境影响的关注正日益增强。关于洁净燃料的立法已经提出来了。随着工业技术的进步,通过高效率的发动机和催化体系,已经降低了内燃机排放物的污染。但随着越来越多的国家工业化,在21世纪中叶,将会有10亿辆汽车出现在公路上。传统发动机的改善是否足以避免全球变暖和交通污染对健康的直接威胁,是让人怀疑的。

人口密集的城市加利福尼亚,最先体验到空气污染的威胁,在1994年提出了“零排放车辆”的倡导。根据倡导的目标,到1998年零排放的新车辆要达到2%,2000年增长到5%,2003年增长到10%。这些目标大部分被推迟了,因为最初所指望的解决方法电池动力车达不到足够的行驶里程。

作为减少燃料的消耗量的一种努力,美国政府、研究所和大汽车制造商之间的一种合作——新一代车辆合作体——计划到2004年为止开发燃料耗量为每加仑(约4.55公升)80英里(约1.61千米)的轻耗车辆。为同样的目的,德国正酝酿一种能行驶100千米耗费3公升燃料的小轿车。

长期以来,燃料电池被认为是普通发动机最合适的选择,因为它们

是极低排放和高效率的动力源。和电池组不同,燃料电池不需要充电,并且在电能和化学能转换时不会损失能量。能量贮藏在燃料自身中确实比在可再充电的电池中更有效。因为它最终改善了系统的功率密度和车辆的行驶里

程。另外,电池组必须定期地一而再地充电并且把污染转移到大型的电力厂。

燃料电池实质上是电解水的逆过程。19世纪30年代,威廉·格罗夫先生演示的不是运用电压把水分离为氧气和氢气,而是让氢气和氧气起反应生成水时获得电能。但燃料电池过了100多年才得到实际应用(见表1)。20世纪60年代,它们第一次被用于为双子座和阿波罗太空站产生动力,因为它们不含任何传动部件,是无噪声的,并且能生产足够洁净的饮用水。此外,燃料电池还可用作潜水艇的推进力。

然而,燃料电池也已经因为更普遍的应用而商业化,例如固定的动力工厂和运输。但现在很多人相信,在下一个5年到10年这些应用将变成一个商业的实体,主要是由于所谓的质子交换膜燃料电池的工艺技术的进步。这些进展也已经导致了在燃料电池开发者和汽车制造商之间的一连串的战略联盟。

在燃料电池上的投资

鲍拉德(Ballard),一个以温哥华为基地的加拿大的公司,是当今世界上在质子交换膜燃料电池发展方面的先驱。20世纪90年代,鲍拉德开发出一个

表1 燃料电池的发展历程

年度	发展历程
1836	威廉·格罗夫先生——桌上实验
20世纪60年代	双子座和阿波罗太空船
20世纪80年代	太空航天飞机
1993	鲍拉德汽车阶段1
1994	美国能源部汽车阶段1和戴姆勒-奔驰小卡车
1995	鲍拉德汽车阶段2——与柴油引擎汽车相比没有降低性能
1997	戴姆勒-奔驰汽车NEBUS
1997	戴姆勒-奔驰客车NECAR 3,以甲醇燃料和两个25千瓦的燃料堆为基础
1997	丰田混合车,以金属氢化物和—个25千瓦的甲醇燃料堆驱动
1997	梅兹塔迪米欧(Mazda Demio)FCEv混合车,以储存在金属氢化物中的氢气驱动
1998	新一代的鲍拉德公共汽车在芝加哥和大不列颠哥伦比亚进行公路测试

燃料电池“堆”，以每公升0.2kW的功率密度生产5kW的总功率。鲍拉德和德国的戴姆勒-奔驰(Daimler Benz)共同开发的最先进的燃料电池堆现在已经有50kW的输出功率和每公升1kW的功率密度。这与运输市场最苛刻的性能和价格目标相一致。其他的开发者包括德国的西门子(Siemens)和意大利的德诺拉(De Nora)，汽车厂商例如美国的通用汽车公司(General Motors)和日本的丰田(Toyota)、梅兹塔(Mazda)都正在开发他们自己的燃料电池。

另外，鲍拉德指明了一系列的汽车和固定的功率体系是以质子交换膜燃料电池为基础的。1997年戴姆勒-奔驰投资3.3亿美元和鲍拉德组成了开发燃料电池发动机的运输市场联盟，并且福特(Ford)不久也带着4.2亿美元的投资加入了这个联盟。另外，美国的克里斯勒(Chrysler)计划2004年用燃料电池汽车替代公路上用汽油发动的汽车。最近克里斯勒和戴姆勒-奔驰的合并无疑加强了开发燃料电池的力量。最后，“大老三”通用汽车公司已经和各种各样的合伙人合作，包括鲍拉德，并且最近宣布它正在开发它自己的50kW的燃料电池发动机。以前开发电动汽车的经验将有助于通用汽车公司实现它2004年准备生产燃料电池汽车的承诺。

为了固定的功率设备，鲍拉德已经加入了国际GPU(以新泽西州为基地的大型电力公司的一部分)，形成了鲍拉德生产体系。公司已经有了一个160万美元的250kW的以天然气发动的燃料电池设备的定单，并且法国的奥尔斯托(Alstom)(以前的GEC奥尔斯托)1998年带着3900万美元的投资紧随其后地加入了冒险。

燃料电池的基础

现在已经在开发不同的燃料电池，其主要的差别是阳极和阴极之间使用的电解质(见表2)。燃料电池是用固体氧化物或溶解的碳酸盐在高温下作用，对额定功率的产生是最适当的。碱性电解液通常被认为有专门的用途，因为它们在空中或氢气

中容易和二氧化碳起反应生成液体燃料。磷酸燃料电池在相对的高温和适当的电流密度下工作，对小规模的动力设备是最合适的。

质子交换膜燃料电池在运输上的应用是最有前途的。在杜邦(Du Pont)最初的开发中，质子交换膜使阳极、阴极和电解膜联合在一起构成膜电极装配(MEA)(图1)的紧密体成为可能。这种电池的电压最高达0.7V，功率密度最高达大约 $1W \cdot cm^{-2}$ 。

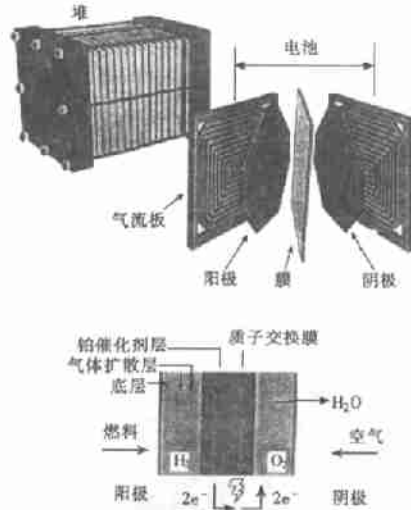


图1 一个被拆开的燃料电池

MEA中固体聚合膜传导的是质子而不是电子。氢气被供给到阳极，在那里分子分离成质子和电子，质子穿过膜向供给着空气的阴极移动，生成水。电子流过外部电路产生电功率。阳极和阴极都是多孔的能透过气体的电极，它们组成了覆盖着催化剂的导电层，催化剂铂或铂合金在两个电极上启动反应。

MEA是两块收集由电池产生的电流的导电板夹心装置。这些金属板也含有把氢气和空气分别分配到阳极和阴极的通道。一个冷却电池的水套经常放在极板后面，有时用一个潮湿表面来保持膜的含水量以帮助维持较高的质子导电性。

通常把单个的燃料电池堆积在一起产生更多的动力。小心设计燃料电池堆以优化电性能，同时

表2 不同燃料电池的组成

燃料电池的类型	电解质	燃料	工作温度(℃)	应用
固体氧化物	氧化锆/氧化钇	沼气; 氢气	1000	大型固定工厂
溶解碳酸盐	碳酸锂/碳酸钾	氢气	600—700	大型固定工厂
磷酸	磷酸(H ₃ PO ₄)	氢气; 含小于百万分之一的一氧化碳	190—210	小型固定工厂(热和能结合应用)
碱	氢氧化钾	氢气; 不含二氧化碳	60—130	汽车
质子交换膜	固体聚合电解膜	氢气; 含小于百万分之一的一氧化碳	60—100	便携式; 小型固定工厂(热和能结合应用)

也确保水的有效移动和气体能快速送到电极。

工艺技术的挑战

对膜电极装配的进一步改善,对把燃料电池从样机过渡到市场将是极重要的。一个高性能的MEA不仅改善堆的性能和放电时间,而且对成本有影响。较高的功率密度意味着需要较少的外部部件——那会使堆更小、更轻、更便宜。

约翰逊·马瑟的研究表明堆的大小和几何尺寸会影响MEA的特性(见图2)。与数学模型一起分析,使评定燃料电池的性能极限可能为设计新的MEAs提供导向。

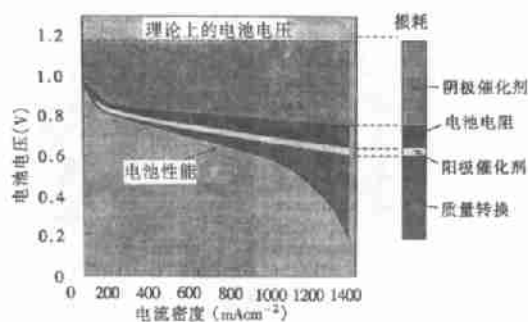


图2 电池性能

燃料电池的质子交换膜使阳极、阴极和电解液在电极装配(MEA)中形成一个紧凑联合体。MEA两边的板供给阳极氢气、供给阴极氧气。燃料电池被堆积在一起容易得到更多的电能(上)。氢气燃料通过阳极扩散,铂催化剂有助于将它分离成质子和电子。质子通过膜向阴极移动,同时电子流过外部电路。氧气结合质子和电子在阴极生成水。这个反应再次由铂催化剂启动。

达到低成本高性能的关键是MEA的工艺过程。美国洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)国家实验室的研究人员已经研究出一种方法,把催化剂直接放在夹在多气孔底板之间的膜上。一种相似类型的MEA也是由美国制造商戈利(W. L. Gore)及其合伙人制造的。

马瑟已经开发了一个制造高性能电极的有力程序。MEA是由电极热压到膜上制成的。这些已经指明原型堆在实际的条件下有数千小时的运转寿命。

很多研究已经集中在减少铂催化剂的成本上。马瑟和鲍拉德合作的程序已经使必需的铂的总数从 $8\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 减少到 $0.6\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$,并实际上改善了性能。这意味着产生1kW的动力需要不到1g的铂,较早的设计则需要20g。原型燃料电池已经表明铂

可以减少到 $0.3\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

改善催化剂的方法

氢气燃料中的杂质是燃料电池开发中的另一个问题。对于一些应用来讲,特别是在运输和固定的动力部门,氢气或许将从如汽油、甲醇或沼气这样的燃料中连续不断地生成。这样的“生成物”总是包含一氧化碳、二氧化碳或者氮的杂质。由于氮仅仅稀释了氢,一氧化碳和二氧化碳都会影响阳极的性能。一氧化碳尤其是个问题——即使是微量的一氧化碳,在纯铂作催化剂的条件下,也能造成巨大的性能损失。

20世纪60年代,通用电气公司的开拓性工作显示,铂与钌的合金比纯铂更能抵抗一氧化碳的毒性。马瑟和其他实验室的研究表明,这种耐毒性是由于合金表面“粘性”的降低或者是气体的化学吸附。另一种解释则是金属氧化物修整了铂催化剂,这种金属氧化物有助于氧化吸附的一氧化碳生成二氧化碳。

开发燃料电池催化剂的主要困难在于鉴别物质是否能引起人们希望发生的化学反应,又能在MEA的腐蚀性环境中保持稳定。科学家们开始采用一些技术来研究催化剂,例如红外线光谱学、质谱测定以及各种表面科学的方法。虽然大部分研究使用催化剂模型,但来自于同步加速器上X光吸收实验的报告显示,对实用的燃料电池催化剂的研究已有了可喜的成果。这些研究揭示了物质中原子结构的详细情况,例如化学氧化的状态和键长,并探测出了被吸附分子的振动光谱。

虽然铂催化剂的成本已经显著降低,但这种薄膜仍然很昂贵。来自杜邦的纳芬(Nafion)薄膜目前的价格高达每平方米800美元,相当于每千瓦电力200美元,尽管公司声称大批量制造可以降低成本90%。在试图降低薄膜成本的各种尝试中,迄今为止只有鲍拉德的BAM3G证实了它的使用寿命是几千小时。这种薄膜以氟苯乙烯聚合物为基础,在大规模生产中成本仅为每千瓦10美元。

薄膜的选择还要根据实际应用而定。薄膜越薄,质子受到的阻力越小,从而为运输应用提供更高的性能,但这样可能会使寿命缩短。对于固定动力的工厂,需要让使用寿命尽可能长,并且降低能流密度以便保持良好的燃料利用率。

虽然MEA的成本正在降低,但用以堆积燃料电池的工艺对于大多数商业应用仍然十分昂贵。许

多模型堆使用昂贵的石墨板和机械通道。人们做了大量尝试,试图用金属、合成物或石墨薄片材料以压印通道或浮雕通道代替这种石墨板。一些研究者还试着用金属泡沫或金属网作通道。目前还不能确定到底哪一种工艺能提供所需的性能和耐久性,特别是对于固定场所的应用,但很有可能出现多种选择。

燃料问题

虽然纯净的氢气是 PEM(质子交换膜)燃料电池最理想的燃料,但最大的问题之一在于它是不是一种实际的选择,特别是在运输应用上。汽车制造者们已经证明:氢可以储存在 board-BMW 中,例如,已开发了一种低温系统来储存液态的氢,沃尔沃(Volvo)则把氢储存在金属氢化物的大罐子中。但是,一升液态氢所提供的能量仅相当于汽油或柴油所提供能量的 1/4。即使提高燃料的利用率,氢也需要更大的容器和某种低温储藏系统。改进金属氢化物或新的碳纤维物质能否解决这个问题仍是个未知数。

另一个争论就是氢气如何制取和分发。1995 年美国生产的氢的总量只相当于两天的汽油消耗总量。要在 21 世纪中叶以前确立一个制取氢气的基础结构几乎是不可能的。现在,大多数氢气都是从天然气,首先是从甲烷中制取出来的。氢气也可以通过一种叫做蒸气改造的过程制造出来,在这个过程中,蒸气作用于碳氢化合物或乙醇而生成氢气和一氧化碳,另外还可以通过部分氧化来产生同样的生成物。

在未来,要想生产氢气而不释放出二氧化碳,需要广泛(未必能)利用核能来电解水,或者使用某种形式的太阳能,用电化学的方法来生产氢气。研究者们也正在探究是否能从微生物中制取氢。

用氢来驱动小汽车还要等待未来去实现,而在加油站加油的巴士和其他类型的车辆可以使用压缩的氢做燃料。同样的方法也可以用于一些专业的车辆,比如叉车、机场的行李运输车和高尔夫车。例如,由鲍拉德和戴姆勒-奔驰开发的巴士,在车顶上放置了装有压缩氢气的轻的碳合成物的大罐子,这些罐子能容纳足够的燃料,使它能和一辆柴油做燃料的巴士运送同样数量的乘客,并以同样的速度走同样远的路程。

在车上制取氢气

对客车来说,在车上从液态的碳氢化合物中制取氢气似乎是很有可能的。问题就在于如何使像蒸

气改造或部分氧化这样的大型工业流程转化为轻量化的反应器,使之适合在车上进行。

最近由戴姆勒-奔驰和丰田开发的原型汽车(图 3)是以改造甲醇蒸气为基础的。这在车上的过程相对容易些,因为它已经作为燃料添加剂被使用,而且有时也用来代替汽油。同时,在美国,用来处理汽油的部分氧化法能提供紧凑的反应器,能快速启动、快速响应,故汽油仍然被看做是最好的燃料,而蒸气改进能生产更多的氢气和提高燃料的利用率。



图3 绿色巴士——这种由鲍拉德动力体系开发的汽车,用储存在车顶部容器的压缩氢气发动,无废物排放

在一次结合两种反应器的优势的尝试中,马瑟开发了一种甲醇处理器,叫做“热点”(图 4)。这种处理器能利用部分氧化过程所产生的热量驱动蒸气改造反应的进行,这样可以保证反应器紧凑,启动快速并保持较高的燃料利用率。仅一个单元每小时就可以生产超过 750 升的氢气,完全可以供一个 750W 的燃料电池使用。“热点”正被应用于其他一些燃料。

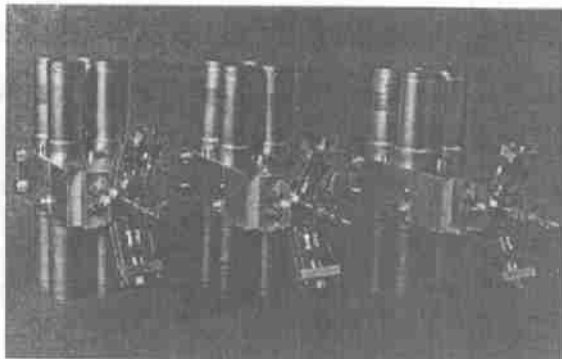


图4 从甲醇到氢气

前面已经提到,通过蒸气改造和部分氧化而生成的氢气含有二氧化碳(约 20—25%)和一氧化碳(约 1—2%)。有很多方法可以减少一氧化碳的含量,达到原来的百万分之几,但每种方法都有它的弊端。其中一种是使用钯薄膜,但需要高压差把氢从其他生成物中分离出来。一氧化碳能转化成甲

现代物理知识

烷,但这就和二氧化碳的反应产生了竞争。它也能被空气氧化而生成二氧化碳,同时也会把一部分氢氧化从而降低燃料的经济价值。由马瑟建立的系统使用多步过程,把一氧化碳减少到了万分之一以下。

最高明的办法之一是制作一个能直接运转于液态燃料的 PEM 燃料电池。仔细考虑后设计的 PEM,能在空气加上甲醇和水的混合物中运转。最主要的工艺挑战在于开发更好的阳极催化剂来补偿阳极上的损失,以及改善薄膜和阴极催化剂来防止甲醇对阴极的毒化。据估计,一个甲醇燃料电池大约产生 $0.25\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$,这几乎和一个传统甲醇改良品的标度差不多,PEM 燃料电池系统能产生 $1\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$,但这要复杂得多。

每一个“热点”处理器有 8 个单元,每小时能生成 6000 升氢气。它们能在启动后 20 秒内达到最大氢气输出量的 75%,一分钟内达到 100%。这种处理器同时具备了蒸气改造和部分氧化反应器的优点。

PEM 燃料电池的性能分析

燃料电池的性能取决于给定的电流密度下产生的电压(见图 2)。如果所有由电化学反应产生的能量转换为电,则能获得理论上的电池电压。然而,真正的燃料电池会遭受几种不同的能量损失,大部分发生在阴极。

性能分析的第一步是撇开欧姆损失的影响。一个燃料电池可以看做是一个理想电压源 E 和一个内部电阻 R 组成的串联电路。电阻主要来自电解液的离子电阻,但还有电池部分的电子电阻。这个电阻控制电流—电压曲线的斜率。

欧姆损失的测量常用电流中断方法。当电流被中断的瞬间,电池的电位变化为 ΔE ,由此可算出内部电阻。

一旦欧姆损失被改正,驱动阴极反应所需的电压——被称为过电压——就能被估算出来。这由 $b \log(I/I_0)$ 给出, b 是常数,依赖于反应(通常氧气反应需 40—80mV), I_0 是交变电流密度。过电压随着 I_0 的增大而减小,改善催化剂的功能,或者创造出更好的催化剂,增加更多催化剂到阴极或增加催化剂的表面积都能增大 I_0 。铂催化剂的表面积通常由一氧化碳的吸附量度,随后当电压变化时被氧化。

电流—电压曲线的膺直线部分的末端由质量传输结果形成。这些能用流体力学问题分析,当水流出时,空气流进有孔的阴极。实验上,质量传输损失能通过电池的性能与不同的阴极气体——普通空

气、纯氧气和“helox”(氮气和氧气的混合物)相比而被估计出来。

应用和市场

汽车工业是 PEM 燃料电池最大的潜在市场之一。但是,需要花费时间建造未来的汽车和可供选择的燃料,尤其我们要记住,汽油发动已有 100 多年历史了。我们也必须清楚地认识到,汽车的价钱是消费者们首要考虑的因素,而汽油发动机占一辆普通汽车总价值的 15% 以下。能否被市场接受是燃料电池所面临的严峻的考验,而且很有可能需要政府部门的支持。

无论如何,近年来取得的进展是有目共睹的。戴姆勒—奔驰、丰田和梅兹塔 1997 年开发了燃料电池汽车的原型,而且由鲍拉德、戴姆勒—奔驰、福特和梅兹塔组成的同盟还将以更大的规模进行长远的发展。当欧洲汽车制造商们开始以鲍拉德或德诺拉开发的堆为基础制造汽车原型的时候,像通用汽车公司和丰田这样的竞争者依然按照自己的想法办事。

但是,常规的发动机是极其多变的,而且还将遇到不断增加的严格的规定。对于可选择的工艺来说,内燃机无疑还是一个强大的竞争对手,但重型汽车和巴士率先得到了燃料电池的经验。

燃料电池还可用于便携式发动机,动力输出不到 5kW,这是由小型发动机或电池供电的一般行情。虽然电池对于小于 25kW 的短期应用是很理想的,但对于要求更大功率和更长工作时间的设备,使用电池就无法达到足够的效率了。重型电池一般都大而且重,并且每隔一段时间还要再充电。比较而言,燃料电池系统能够工作更长的时间而且更换燃料也容易得多。

1998 年初,鲍拉德收到霍塔(Honda)一张 170 万美元的定单,购买 1kW 的燃料电池堆用于便携式发动机。另外,新泽西的鲍沃(H. Power)以 75 万美元的价格向新泽西运输部售出 65 个燃料电池系统用作可变信号的功率源。

用另一种尺度来看,德国夫兰和弗(Fraunhofer)太阳能系统研究所显示,一个燃料电池系统能使一台桌上计算机运行 10 小时。一种来自洛斯阿拉莫斯的副产品——能量相关装置,正在开发小型的直接甲醇燃料电池,并用它来代替蜂窝电话中的电池。

燃料电池还能用于固定式发动机,特别是在能源市场自由度越来越高的时候。更小、更灵活的动力站才更能应付动力使用上的大变动,这种变动



漫谈物理污染

孙海滨

(泰安师专物理系 山东 271000)

在科学技术日益发展的今天,由于科学技术的使用不当所造成的污染,已经渗透到了人类生活的方方面面。对于塑料袋、一次性塑料用具等白色污染,学生了解的还是比较多的,并且现在不少城市都公布城市空气质量周报或日报。大家都知道空气质量指数越大,大气污染状况就越严重,例如北京市在1999年11月初的一周内,有3天空气质量指数是5级——严重污染。在学科教学中我们应该注意向学生介绍污染的危害和防治,使学生了解污染现象,树立环境保护和节约能源的意识。在物理教学中,可以结合教学内容,在课堂教学中或课外以专题讲座的形式,向学生系统地介绍与物理学相关的污染现象——“物理污染”。

1. 放射性污染

我们首先看两个事件:(1)北约在轰炸南斯拉夫

在城镇是很有代表性的。燃料电池系统可以用作办公室或工厂的紧急功率源,他们在非正规的市场中会更加常见,甚至会成为最主要的电源。小型的动力站也有助于适应世界性能量需求的增加,因为大型的动力工厂常常会面临环境的压力和公众的反对,而且安置起来也很费时间。

对于输出量为几十兆瓦的固定式动力工厂,只有以固态氧化物和熔融的碳酸盐为基础的燃料电池被认为是可行的。日本已经雄心勃勃地计划在2010年以前装设2000MW能量的燃料电池,其中90%将以熔融的碳酸盐燃料电池为基础,并以60%以上的效率工作。同时,以磷酸为基础的燃料电池效率高达42%,并常被用于协同发生系统。输出功率为50—500kW的小型发电机市场已经有了,它们会与改用天然气的柴油发动机产生竞争。由美国IFC、日本的东芝和三菱(Mitsubishi)制造的几百个200kW系统正在全世界被安装使用。人们预料PEM燃料电池会侵占低于50kW的发电机市场,因为它们比以磷酸为基础的燃料电池系统更紧凑。输出功率为2—6kW的小型系统可以用于家庭的热量

科索沃时,使用了贫铀炸弹(以 U^{238} 为主要原料,爆炸时产生高温化学反应,有一定的放射性),它在短时间内产生的高温使弹体及其所击中的金属发生尘化,变成细微颗粒四处飘散,使对放射性物质的清除极为困难。而衰变铀的半衰期比铀更长,其污染期加长,可以长期破坏环境和人类的食物链,受影响的人群容易患上癌症、白血病等。(2)在1999年,日、韩相继发生核泄露事故,其主要危害是什么?也是放射性污染!

当然,我们不能因为核放射性的危害就停止核能的开发与使用。因为,放射性的合理使用也能够给人类带来福音,如放射性可用于灭菌、育种、治虫。而核能的合理开发和使用,将有助于解决人类的能源危机。目前核电站的发电量已占全世界总发电量的18%,核电的发电成本已经低于煤电,并且,科学

和功率供给。而且人们相信,即便燃料电池系统的价格相对较高,但还会在国内市场上有一定的竞争力。这鼓励了美国的几家公司把注意力集中在小型的PEM燃料电池系统上。普卢格鲍沃(Plug Power)决定在1999年首先演示家用装置,同时,美国动力公司和电力研究所也计划把一个3kW系统打入市场,目标同样是欧洲。

未来的动力

燃料电池在过去的几年中走过了漫长的道路,但对大多数应用仍然是一种昂贵的选择。要使燃料电池被汽车工业接受并最终取代内燃机,政府的鼓励似乎是必不可少的。但是,燃料电池能够更早地冲击固定动力市场。虽然燃料电池系统的安装是相当昂贵的,但与现有的动力工厂相比,它们能提供更高的燃料利用率和更低的运行费用。

如今,对燃料电池的全面研究和发展已经只剩下最后的问题了。这些被广泛传播并已被采用的东西,将真正改变我们的环境和生活。

(编译自 Physics World 1998年8月号 Gregor Hoogers 文)