

酸碱混合水循环式新结构 燃料电池发电系统研究

林炜程 / 广东实验中学
指导教师 刘忠毅 黄柏树

◎ 摘要

燃料电池是一种直接将储存在燃料和氧化剂中的化学能高效、无污染地转化为电能的发电装置。其能源转化率最高可以达到 80%，是未来重点发展的能源。针对以往燃料电池存在的问题，我构建了新型的燃料电池发电系统。这种发电系统具有结构简单，管理、使用方便，加水就可以现场制氢供燃料电池使用的特点。这种新概念燃料电池有望通过多个单元电池串联做大功率并作为新能源实现实际应用，对于环境保护非常有意义。

◎ 研究目的与意义

燃料电池是一种不经过燃烧直接以电化学反应方式将燃料的化学能转变为电能的发电装置，是一种绿色能源技术。它不经过热机过程，因此不受卡诺循环的限制，能量转换效率高（40% ~ 60%），环境友好，可以减少氮氧化物、硫氧化物和 CO₂ 等城市污染物。对解决目前世界面临的“能源短缺”和“环境污染”这两大难题有重要意义，被认为是 21 世纪最为重要的动力能源之一。

但是，现在一般的低温燃料电池都要求使用贵金属催化剂，比如铂。以铂为催化剂，不仅成本昂贵，而且资源稀少。如果不排除对铂的依赖性，燃料电池将会因为铂的资源问题受到应用限制。在便携式燃料电池发电过程中，燃料电池不仅产生电能，还会产生热。如果没有方法将热排除的话，电解质膜会失水，造成电池断路而无法工作。我了解到目前的便携式燃料电池都工作在比较低的温度，这种以牺牲性能为代价的目的就是因为高温会失水。

◎ 研究背景

中国科学工作者在燃料电池基础研究和单项技术方面取得了不少进展，积累了一定经验。但就燃料电池技术的总体水平来看，与发达国家尚有较大差距。近几年中国加强了在质子交换膜燃料电池（PEMFC）方面的研究力度。2000 年大连化学物理研究所与中科院电工研究所已完成 30kW 车用燃料电池的全部试验工作。北京富原公司也在 2001 年提供了 40kW 的中巴燃料电池。

从查阅资料的角度看，国际上已有酸性燃料电池和碱性燃料电池，但没有

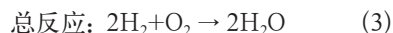
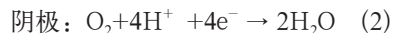
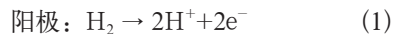
酸碱一体混合式的燃料电池。

◎ 研究过程

➤ 研究设想

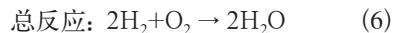
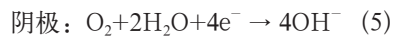
本课题的设计思想就是通过研制酸性和碱性燃料电池的混合式装置，达到克服上述两大问题的目的。

首先以氢 / 空燃料电池为例叙述工作原理。如果使用酸性电解质质子交换膜，那么其反应为：



在这里可以看到，能移动的离子是氢离子，在电池中氢离子从阳极穿过膜运动到阴极，与进入电池的氧进行反应生成水。首先，我可以体会到，这种燃料电池完全没有污染；第二，我发现反应产生的水是从阴极排出。

当使用碱性膜时，电极反应变成：



那么，可以发现，其与酸性膜燃料电池的差异：即反应产生的水从阳极排出。两种电池的工作原理比较见图 1。

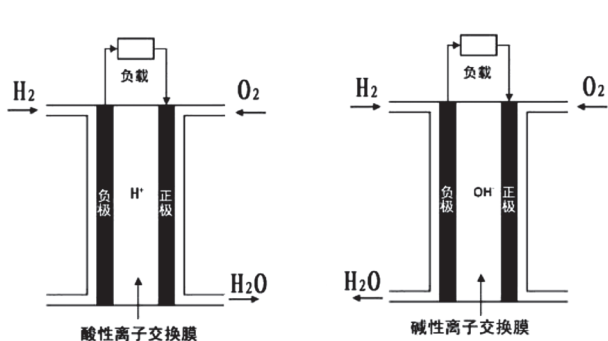


图1 酸性和碱性燃料电池的工作原理比较

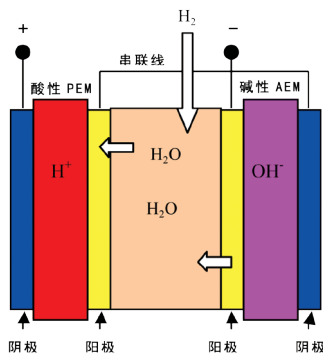


图2 新结构燃料电池的设计图

我的设计思想是把2个不同电池串联在一起，共用1个燃料源（氢气）。

混合式燃料电池的特点

2个串联的混合式燃料电池具有高电压（理论电压 2.46 V）、由于共用燃料室因而体积小、自增湿等优点。我根据图2进行具体阐述。图2的左边是普通的酸性电池，使用质子交换膜（PEM）阳极反应产生的氢离子，透过膜扩散到阴极与空气中的氧气反应产生水，所以水从阴极端排出。而在右边是新型的碱性阴离子（OH⁻）交换膜（AEM）燃料电池。由于传导离子是氢氧根离子，所以在阴极氧气还原产生的 OH⁻ 扩散到阳极与氢气氧化产生的氢离子结合生成水。所以，水从阳极排出。由此可见，阴离子交换膜燃料电池产生的水可以用来增湿质子交换膜燃料电池，不需要外加增湿装置。当需要做大功率电池时，我可以把这样的单元串联起来，每个单元电池自增湿，可以大大简化装置，减少体积、降低成本。

采用阴离子交换膜燃料电池可以有希望大幅度降低燃料电池的成本。

研究的技术路线

研究技术路线见图3。

研究过程

电池设计图见图4。

本项目的主要材料包括：催化剂、碳纸、质子交换膜、阴离子交换膜。另外需要辅助材料包括：密封圈、溶剂、黏结材料、碳粉、PTFE 浆料等。

需要设计和加工端板、导气板、金属集电极、风扇架、电流和电压表架、底座等。

涉及的仪器包括：雕刻机、热压机、钻床、电池测试装置、材料预处理装置等。

燃料电池发电系统的组装步骤可以总结为如下流程：先把1个氧气端板固定，放1片不锈钢集流极板，放1片密封垫，放酸性质子交换膜、膜电极（2.5cm×2.5cm），再放1片不锈钢集流板，放1片密封垫，放氢气端板，在氢气端板上放1片密封垫，放不锈钢集流极板，放密封垫，放1片载有催化剂的碳纸，在碳纸上放碱性质子交换膜，把另一片碳纸在膜上与上一片碳纸对齐，放另一片不锈钢集流极板，再放氧气端板，锁紧螺丝，串接电路，接制氢瓶，测电池开路电压。

实验结果

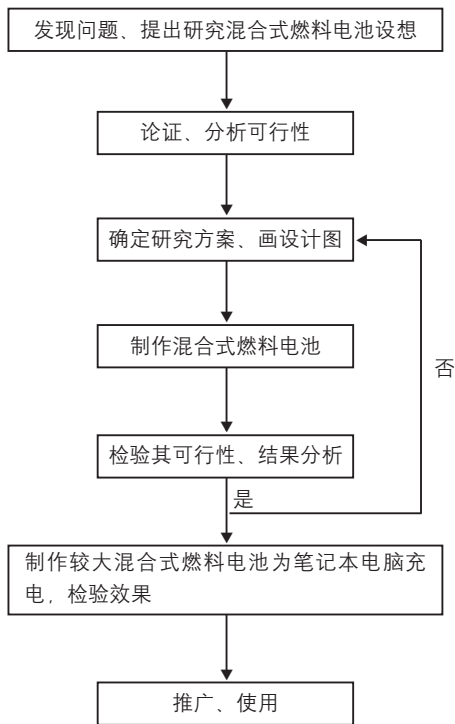
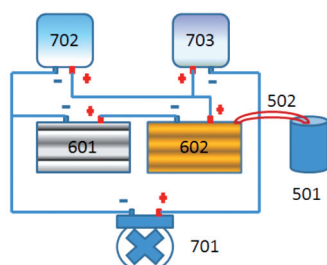


图3 研究的技术路线

首先按上述方法将示范装置安装好燃料电池，用万用表检验电池工作性能（图5）。

检验结果显示2个串联电池的开路电压达1.95V。尽管按照理论计算，2



501, 制氢容器; 502, 导气管; 601, 质子交换膜燃料电池; 602, 阴离子交换膜燃料电池; 701, 风扇; 702, 电压表; 703, 电流表。

图4 燃料电池的线路设计图



图5 检验电池工作性能

个电池的电压应该为 2.46V。但是，一般正常安装好的单个质子交换膜燃料电池的开路电压为 0.95 ~ 1.05V。所以证明我们设计的混合型电池的安装达到了很好的水平。

燃料电池的一个重要方面就是稳定性问题。我在研制过程中也进行了测试。实验结果表明，在实验实践范围内，电池的稳定性很好。

◎ 总结

- ◆ 通过构建酸碱混合水循环式新结构燃料电池，解决了原有燃料电池需要增湿的问题。以碱性燃料电池产生的水为酸性燃料电池增湿，二者串联后形成了水自循环，解决了燃料电池需要水维护的问题。
- ◆ 因为甲醇具毒性、液体不便携带等原因，我又探究了用水激活硼氢化钠和硼氢化钾制氢作燃料，效果非常好。持续不断地产出氢气供燃料电池使用，产电效果好、持久，解决了原来甲醇不便携带的问题。

因为我在外出时只要携带固体含氢材料就可以，水可以在现场获取。

- ◆ 由于使用了阴离子交换膜燃料电池，催化剂可以不使用铂，这样可以摆脱燃料电池对铂的依赖性。

◎ 创新点

- 设计并制作了 1 个新结构燃料电池。由 1 个酸性电池质子交换膜燃料电池和 1 个新型的碱性阴离子交换膜燃料电池串联共同构成，共用 1 个燃料室，减少了体积，实现了水的自循环、膜组装电极的自增湿，解决了燃料电池的水管理难题。
- 在阴离子交换膜燃料电池中用金属钯代替铂，不仅降低了成本，而且摆脱了对铂的依赖。在今后的研究中，还可以采用非贵金属催化剂来更大幅度降低成本和在根本上摆脱对铂的依赖。
- 解决了现场制氢的难题，能做到长期持续产氢，制氢装置简单。
- 酸碱混合水循环式新结构燃料电池

发电系统具有结构简单，管理、使用方便，加水就可以现场制氢供燃料电池使用的特点。

该项目获得第 26 届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组化学一等奖。

专家评语

该项目涉及燃料化学电池的开发与应用，意义重大。它提出了将酸碱电池混合的新思路，有利于水的循环应用，在不降低功率的前提下还可利用更便宜的金属电极，一举多得。该项目论文的写作规范、符合逻辑，答辩过程回答问题也准确无误，思维清晰。■