

一种质子交换膜燃料电池电位分布的测试方法

樊进宣, 卫 星, 曹涛锋, 陈 黎, 陶文铨

(西安交通大学 能源与动力工程学院 动力工程多相流国家重点实验室 陕西 西安 710049)

摘要: 采用 PCB 技术对质子交换膜燃料电池阴极扩散层与集流板之间的电流密度分布及电位分布进行了实验研究, 研究了不同电池工作电压下的电流密度分布和电位分布, 结果表明, 电位分布并不是均匀分布, 而是有一定的分布特点。另外, 电流密度的分布与电位分布并不具有一致性, 这说明在质子交换膜燃料电池的研究中, 电位分布的研究也可能成为一种判断电池性能好坏的标准, 并有可能与电池极化曲线、电流密度分布一起成为确定电池工作状况的标准。

关键词: 质子交换膜燃料电池; PCB 技术; 电流密度分布; 电位分布

中图分类号: TM 911.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-087X(2011)07-0799-04

A method for measuring potential distribution of PEMFC

FAN Jin-xuan, WEI Xing, CAO Tao-feng, CHEN Li, TAO Wen-quan

(State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Energy, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shanxi 710049, China)

Abstract: The current density distribution and the potential distribution on the surface of cathode diffusion layer of proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) were measured by PCB technology, and the current density distribution and potential distribution were studied under different cell voltages. The results show that the potential distribution presents certain patterns instead of uniform distribution. In addition, the current density distribution and the potential distribution do not match each other. This indicates that the potential distribution is likely to be another important factor to estimate the performance of PEMFC and it can be used to identify the working condition of PEMFC associated with the current density distribution and the polarization curve of fuel cell.

Key words: PEMFC; PCB technology; current density distribution; potential distribution

质子交换膜燃料电池作为一种新型的能量转换装置,以其高效性、环保性、紧凑性等诸多优点被越来越多的人所认可。同时它也成为各国高校及研究机构研究的热点。目前,质子交换膜的研究方法主要是通过对极化曲线和局部电流密度分布的研究来改善电池性能。然而,由于影响电池性能的因素较多,对质子交换膜燃料电池仅做上述两方面的分析是不全面的。Min 等通过对质子交换膜的数值模拟发现,只通过极化曲线和电流密度分布无法确定电池的工作状态,必须同时将阴极过电位分布考虑进去才能得到唯一的电池工作状态^[1]。Han 等通过在质子交换膜内加入一根金丝的方法测定了 PEMFC 中阴极和阳极的过电位^[2],但这种方法对于测定阴极过电位的分布来说还存在一定的困难。就目前的实验条件,无法通过实验测得阴极过电位分布,所以为简单起见,我们通过测定阴极扩散层表面的电位分布来代替阴极过电位分布。Freunberger 曾经用金丝测定过质子交换膜燃料电池扩散层和催化层之间的电流密度分布和电位分布^[3]。Shen 等通过在阴

极扩散层表面加入由铜丝制作的电压传感器测得在电流密度为 600 mA/cm² 时,空气进口处的电位比出口处高 6 mV 左右^[4]。

通过对近十年所发表的文章的研究发现,PCB 技术已经成为燃料电池研究方面一种行之有效的方法,尤其是在便携式燃料电池电源系统方面。1998 年,Cleghorn 首先提出利用 PCB 技术来测定质子交换膜燃料电池电流密度分布并研究了气体流量对电池进出口电流密度的影响^[5]。卫星等人通过一种自行设计的质子交换膜燃料电池电流密度测试 PCB 板研究了反映物流量和加湿温度对电流密度分布的影响^[6]。本文通过对“一种燃料电池局部电流密度测量流场板”专利的改进,对不同电流密度下 PEMFC 电流密度分布及阴极扩散层表面的电位分布进行了测定,并得出结论。

1 实验系统及实验方法

1.1 实验系统

实验中使用杜邦公司生产的 Nafion1035 质子交换膜,膜的有效面积为 25 cm²,厚度 89 μm,催化剂采用碳载铂,Pt 的用量为 0.4 mg/cm²,碳纸厚度为 0.2 mm,反应气采用 H₂/O₂,气体流动方向均沿重力方向。流场板采用平直型流道,阳极采用传统的石墨板作流场,11 条流道,流道宽 2.5 mm,长度 50

收稿日期 2011-01-12

基金项目 国家自然科学基金重点基金资助项目(50636050)

作者简介 樊进宣(1983—),男,山西省人,硕士,主要研究方向为质子交换膜燃料电池实验。

mm,深度 3 mm,肋宽 2.25 mm。阴极采用 PCB 做流场板,除流道深度为 1.5 mm 外,其余尺寸与阳极相同。图 1 是实验所用燃料电池实验台的系统示意图。

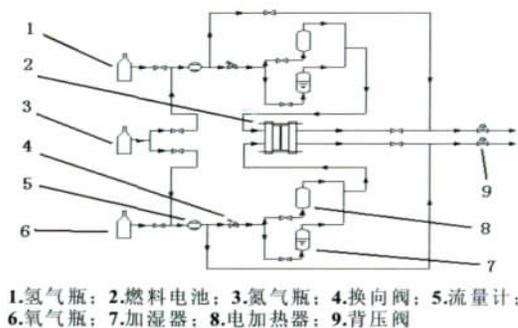
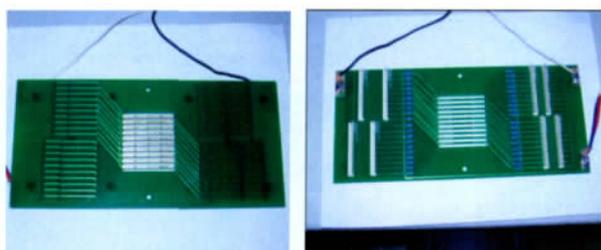


图 1 燃料电池实验台示意图

1.2 实验方法

本文是在“一种燃料电池局部电流密度测量流场板”专利的基础上,通过一系列改进实现对 PEMFC 阴极扩散层表面的电位分布进行测量。图 2 是该 PCB 的实物示意图。图 3 是该 PCB 的 40 个测点的分布及气体进出口位置的示意图。在 1.3 节中对该 PCB 的电阻值进行了具体的分析,阐述了利用该 PCB 板测定电流密度分布与阴极扩散层表面电位分布的方法。



(1)正面 (2)反面

图 2 实验中所用的 PCB 实物示意图

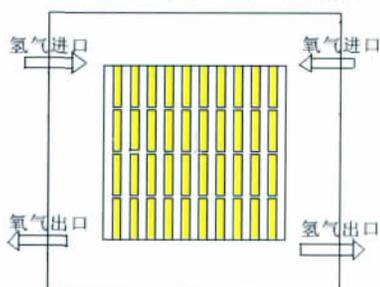


图 3 PCB 板的测点分布及气体进出口位置示意图

1.3 电路板电阻值分析

本实验主要研究质子交换膜燃料电池阴极扩散层表面的电流及电位分布,由于本实验中所用 PCB 板的电阻值过大,其值大约为 0.05 Ω,所以在实验过程中负载两端的电压达到 0.1 V 时,燃料电池的真正输出电压是 0.538 V,而此时总电流只有 8.17 A,平均电流密度为 0.326 8 A/cm²。

图 4 是 PCB 板的简化电路图,图中 A1, A2, …, A40 代表阴极 PCB 上的每个覆铜层与扩散层的接触点。B1, B2, …, B40 与 C1, C2, …, C40 分别代表电路板上的固定电阻 R_s=1 Ω 两

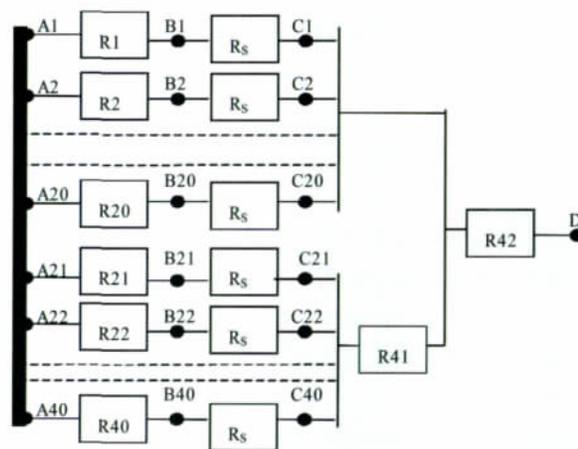


图 4 PCB 等效电路示意图

端的电位采样点。D 点是燃料电池阴极与电子负载的连接点;电子负载所能决定的电压值便是 D 点与电池阳极集流板之间的电压;R₁, R₂, …, R₄₀ 分别表示从每个 PCB 覆铜层到相应的固定电阻之间的等效电阻;R_s 表示用于测定分电流所用到的固定电阻;R₄₁ 和 R₄₂ 表示电路板中相应的布线电阻。本实验的目的是测定 A₁, A₂, …, A₄₀ 点的电位值和每个 R_s 两端的电位差,前者即为燃料电池阴极扩散层表面相对于阳极流场板的电位分布,而后者则在数值上等于阴极电流密度的分布值。

根据电阻计算公式 $R = \rho L / S$, 式中: ρ 为电阻率; L 为导线长度; S 为导线截面积。已知铜的电阻率在 20 ℃ 时为 0.018 Ω·mm²/m, PCB 布线厚度 70 μm, PCB 走线宽度为 1.5 mm, 各部分的布线长度可以计算出各部分的电阻值如下:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{15} = R_{16} = R_{17} = R_{18} = R_{19} = R_{20} = R_{21} = R_{22} = R_{23} = R_{24} = R_{25} = R_{26} = R_{27} = R_{28} = R_{29} = R_{30} = R_{31} = R_{32} = R_{33} = R_{34} = R_{35} = R_{36} = R_{37} = R_{38} = R_{39} = R_{40} = \rho L / S = 0.018 \times 0.035 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.006 \Omega$$

$$R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{15} = R_{16} = R_{17} = R_{18} = R_{19} = R_{20} = R_{21} = R_{22} = R_{23} = R_{24} = R_{25} = R_{26} = R_{27} = R_{28} = R_{29} = R_{30} = \rho L / S = 0.018 \times 0.05 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.008 \Omega$$

$$R_{41} = \rho L / S = 0.018 \times 0.12 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.020 5 \Omega$$

$$R_{42} = \rho L / S = 0.018 \times 0.06 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.010 5 \Omega$$

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{10}{R_1 + R_s} + \frac{10}{R_{11} + R_s} + \frac{1}{\frac{10}{R_{21} + R_s} + \frac{10}{R_{31} + R_s}} + R_{42}} + R_{41} = 0.039 8 \Omega$$

2 实验结果

2.1 实验条件及参数分析

实验中氢气和氧气流量均选为 0.2 L/min, 两者均采用 30 ℃ 加湿温度。进口压力均为 0.1 MPa, 实验过程中电池温度为 20 ℃。阴极流场板用带有流道的 PCB 板代替, 阳极仍采用石墨流场板。表 1 是该工况下电池的工作情况, 表 1 中的修正电压表示阴极扩散层表面相对于阳极集流板的电压, 修正电流表示忽略 PCB 电阻后电路中的总电流值, 修正电阻表示实验所测得的 PCB 等效电阻值, 负载电阻表示各工作电压下电子负载的电阻值。对上述修正电阻求平均值可得平均修正电阻

表1 燃料电池工作参数

电压/V	电流/A	修正电压/V	修正电流/A	PCB 修正电阻/ Ω	负载电阻/ Ω
0.8	0.6	0.831	0.623	0.05171	1.333
0.7	1.42	0.773	1.569	0.051923	0.492
0.6	2.48	0.727	3.005	0.051285	0.241
0.5	3.54	0.684	4.848	0.052199	0.141
0.4	4.66	0.645	7.521	0.052708	0.085
0.3	5.82	0.607	11.78	0.052834	0.051
0.2	7.02	0.572	20.07	0.052991	0.028
0.1	8.17	0.540	44.19	0.053973	0.012

$R_{修正} = 0.052453$, 比理论计算出的 PCB 总电阻 $R_{总} = 0.0398$ 大, 这可能是因为理论计算中并未考虑 PCB 与扩散层之间以及 PCB 与负载之间的接触电阻。

2.2 不同电压下阴极扩散层电位及阴极电流密度的分布情况

2.2.1 电池电压为 0.831 V 时电流密度及电位的分布情况

将实验所测得的 40 个点的电流及电位在 TECPLOT 中以二维分布图的形式表示, 图 5 表示由 40 个结点所组成的二维网格图。图 6 和图 7 分别是 0.831 V 时阴极电流及扩散层表面的电位分布示意图。从图 6 可以看出在 0.831 V 时电流密度分布值比较小, 最大值为 0.035 A/cm^2 , 位于氧气进口处, 最小值为 0 A/cm^2 , 位于氢气进口处, 同时在氢气出口处的电流密度值也接近零。而在氧气出口处的电流密度却能达到 0.025 A/cm^2 左右, 这可能是在小电流下由于反应生成的水很少, 质子交换膜的润湿主要通过加湿气体来完成, 而本实验中由于电池温度较低, 加湿气中水分主要以液态形式存在, 所以由于气体的吹扫作用在气体出口处膜的水含量会高于其他部位, 从而促进反应的进行。在图 7 中, 电位最大值位于氧气进口与氢气出口之间的区域, 而电位最小值同样位于氢气进口处。电位分布值之间的差值最大在 20 mV 左右。本文所测得的阴极扩散层电位分布的差异比文献[4]中所测得的结果大得多, 这是因为在文献[4]中阴极流场板上的石墨与扩散层直接接触, 这在一定程度上减小了扩散层表面电位分布的差异。与电流分布不同的是, 在氢气出口处的电位值较大, 而电流值却很小, 这在一定程度上说明此处的质子交换膜的润湿状况很差, 从而导致了虽然电池两端有较高的电压, 但由于质子传

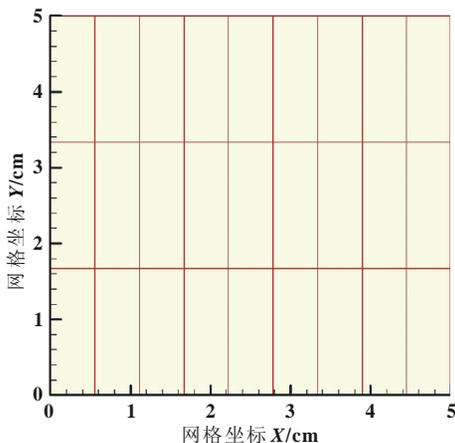


图5 由 40 个测点所组成的二维网格示意图

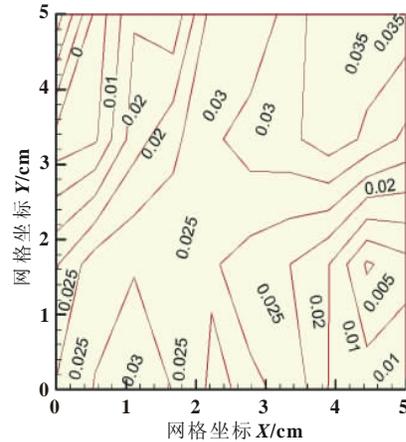


图6 电池电压为 0.831 V 时阴极电流密度分布 (A/cm^2)

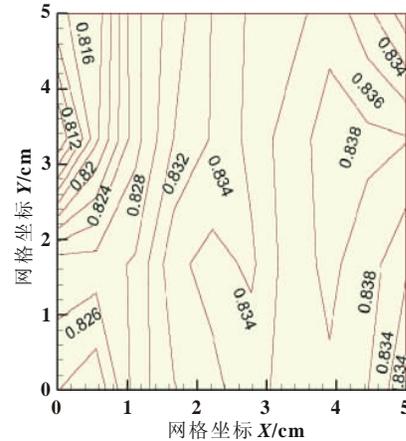


图7 电池电压为 0.831 V 时阴极电位分布 (V)
受阻造成的电流密度很低的状态。

2.2.2 电池电压为 0.541 V 时电流密度及电位分布情况

图 8 和图 9 分别为电池电压为 0.541 V 时电流密度及扩散层表面电位的分布。图 8 中, 随着电池电压的进一步降低, 电流密度值也随着升高。平均电流密度达到 0.3268 A/cm^2 , 与前面的电流密度分布不同的是, 最低电流密度分布点向氢气进口方向扩展, 即在第 2 排第 2 列和第 3 排第 2 列的电流密度都达到最小电流密度值 0.14 A/cm^2 左右。同时可以看出, 电流密度在氧气进口处随电压降低而增加的程度远大于在氧气出口处的电流密度的增加程度, 这说明随着总电流的

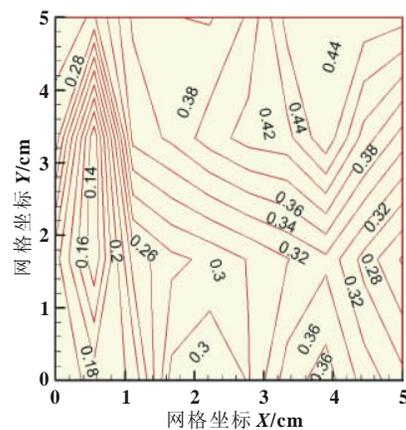


图8 电池电压为 0.541 V 时阴极电流密度分布 (A/cm^2)

