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:1002-087 X (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 mach 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 potential distribution. 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

收稿日期 2011-01-12 基金项目 :国家自然科学重点基金资助项目(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。 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,Cleghom 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

迎泳技术研究与设计

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。



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。





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



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;*R*1, *R*2, …, *R*40 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;*R*41 和 *R*42 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=ρL/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:

 $R1 = \bullet \bullet = R10 = R31 = \bullet \bullet = R40 = \rho L / S =$

 $0.018 \times 0.035 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.006 \Omega$

 $R11 = \bullet \bullet \bullet = R30 = \rho L / S = 0.018 \times 0.05 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.008 \Omega$

 $R41 = \rho L / S = 0.018 \times 0.12 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.020 5 \Omega$ $R42 = \rho L / S = 0.018 \times 0.06 / (70 \times 10^{-6} \times 1.5) \Omega = 0.010 5 \Omega$



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 和极仍采用石墨 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

2011.7 Vol.35 No.7

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

表1 燃料电池工作参数

R^{像正} =0.052 453,比理论计算出的 PCB 总电阻 *R*[≜] =0.039 8 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/cm²,位于氧气进口处, 最小值为 0 A/cm²,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/cm² 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7 电池电压为0831 V时阴极电位分布(V) 导受阻造成的电流密度很低的状况。

2.2.2 电池电压为 0.541V 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 0.326 8 A/cm², 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/cm² 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

^{?1994-2018} China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

迎泳技术研究与设计

增加,氧气浓度对电池阴极反应的影响逐渐增大。在图9中, 最小电位和最大电位与平均电位之间的差距也进一步增大, 分别为141 mV和59 mV。

3 结论

(1)燃料电池阴极扩散层表面的电位具有一定的分布,并 不是处处均等。本实验条件下,在横向上,阴极扩散层表面的 电位在总体上沿氧气流动方向是逐渐减小的,在纵向上,于氧 气进口和出口处,都呈现出中间低,两边高的趋势;而中间区 域是比较均匀分布的。

(2)通过对电流密度分布与电位分布的比较可以发现,电

流密度分布与电位分布并不是一致的。电流密度基本是沿着 气体的流动方向逐渐减小,而电位分布则如(1)中所述,这说 明在宏观上仅靠对电池极化曲线和电流密度分布的研究无法 对电池性能做出全面的分析。

参考文献:

- MIN C H, HE Y L, LIU X L, et al.Parameter sensitivity examination and discussion of PEM fuel cell simulation model validation Part : Result of sensitivity analysis and validation of the model[J]. Journal of Power Source, 2006, 160: 374-385.
- [2] HAN J N, PARK G G, YOON Y G, et al. A new evaluation method of anode/cathode used for polymer electrolyte membranefuel cell[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2003,28: 609-613.
- [3] STEFAN A F, MATHIAS R. JORG E, et al, Measuring the current distribute-on in PEFCs with sub-millimeter resolution[J]. Journal of the Electrochemical Society,2006,153(11):A 2158-A 2165.
- [4] SHEN Q, HOU M, YAN X Q, et al. The voltage characteristics of proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) under steady and transient states[J]. Journal of Power Sources, 2008,179: 292-296.
- [5] CLEGHORN S J C, DEROUIN C R, WILSON M S, et al. A printed circuit board approach to measuring current distribution in a fuel cell[J]. Journal of Applied Electrochemistry,1998,28: 663-672.
- [6] WEI X.Study on local current distribution and dynamic response characteristics of proton exchange membrane fuel cell[D]//Master's thesis.Xi'an:Xi'an Jiao-tong University,2008.

DYG-703B油压式对辊机

邵阳市达力电源实业有限公司生产的油 压对辊机系列产品,广泛应用于国内各大锂离子电 池、氢镍电池生产厂家。轧辊尺寸分别为φ200 mm、φ300 mm、φ400 mm、φ500 mm、φ600 mm 等,压力60~400 t,油压系统采用美国原装动力系 统,轴承采用进口轴承,轧辊采用高性能合金材料, 设备性能稳定,压力大,轧制极片平整,配套有放 卷、切边、刷片、收卷组成极片轧片自动线,此机已 在奥柯玛、肇庆风华、TCL等著名企业使用。

DYG-703B油压式对辊机

主要技术指标:

- (2) 油压压力:400 t, 300 t, 200 t, 60 t;
- (3) 功率:15 kW,11 kW,7.5 kW,5.5 kW;
- (4) 轧辊精度圆柱度:≤±0.005 mm;
- (5) 轧辊硬度:≥HRC62-65;
- (6) 纠偏精度:≤±0.5 mm。

欢迎来电来函咨询

地址:湖南省邵阳市建设南路(白马田) 邮编:422001 电话:0739-5161769 5161291 13907390621 13007390621 传真:0739-5161769 5161291 网址:www.dalipower.com 网络实名:电池设备 E-mail: dali08@sina.com

2011.7 Vol.35 No.7

802

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net