

基于 PEMFC 电压均衡性的 OER 测试研究^①

刘露萍¹, 李艳昆²

1. 重庆水利电力职业技术学院 电气工程系, 重庆 永川 402160; 2. 西南交通大学 电气工程学院, 成都 610031

摘要: 用水冷型质子交换膜燃料电池作为参考, 用 CFD 模拟质子交换膜燃料电池阴极流场, 同时建立质子交换膜燃料电池的集总参数模型, 来验证电堆单片电池电压的均衡性, 并得到了不同输出电流条件下电压均衡性最优时所对应的过氧比(OER). 对在实际应用中通过控制电堆阴极侧的空气进气量改善电压均衡性与电堆性能、延长电堆寿命提供指导和参考依据.

关键词: 质子交换膜燃料电池; 电压均衡性; 过氧比; 空气流量控制

中图分类号: TM911

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)07-0179-06

燃料电池以其高效、低污染、无噪声和能源可再生等优点, 近年来受到世界各国政府和企业的重视, 并投入巨资进行开发和研究. 特别是 PEMFC(质子交换膜燃料电池)在商业应用上发展迅速^[1-2].

燃料电池发电系统是将储存在氢气和空气中的化学能转换为电能, 所以在实际操作和控制过程中, 需要根据负载的功率需求和燃料电池电堆本身的工作环境, 对反应气体的流量、压力、电堆温度等一系列参数进行实时调节. 燃料电池发电系统具有强非线性、强耦合性、以及明显的滞后性和随机性等特点, 从电堆的性能和寿命, 系统效率等多方面考虑, 都需要对燃料电池进行优化控制^[3]. 目前, 国内外对燃料电池系统的控制主要是以燃料电池系统效率和燃料电池电堆的响应时间为目的进行控制研究, 对于燃料电池组失效的研究较少. 在实际的应用过程中, 系统在电池启动、停机、负载大负荷变化等情况下, 如果某几片单电池得不到足够的反应物, 将会损害燃料电池性能, 导致电池失效, 在极端情况下, 出现反极现象, 甚至产生燃烧、爆炸. 因此本文通过调节燃料电池的进气量, 从而提高燃料电池的单片电压的均衡性, 改善燃料电池电堆的寿命.

相对于阳极侧进气量, 阴极侧空气进气量对燃料电池单片电压的均衡性的影响更为明显. 文本通过 CFD-FLUENT 求解器, 针对水冷型 PEMFC 阴极侧流场进行了几何建模与仿真. 通过仿真实验得到了不同输出功率条件下 OER 对燃料电池单片电压均衡性的影响关系. 对水冷型 PEMFC 发电系统在实际应用中阴极侧进气量的控制策略优化有一定的参考和指导作用.

1 仿真模型

1.1 几何模型

本文将 Ballard 9SSL V4 型电堆的阴极流场作为建模参考^[6], 设定单片电池个数为 10. 所建立的 PEMFC 电堆阴极流场的几何模型的三维图如图 1 所示. 同时为了简化处理, 我们假定模型具有镜面对称特性,

① 收稿日期: 2016-01-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(51177138); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1503702).

作者简介: 刘露萍(1978-), 女, 四川安岳人, 副教授, 硕士, 主要从事自动控制、信号检测与变换研究.

截取中心平面作为流体计算几何模型(图 2)。

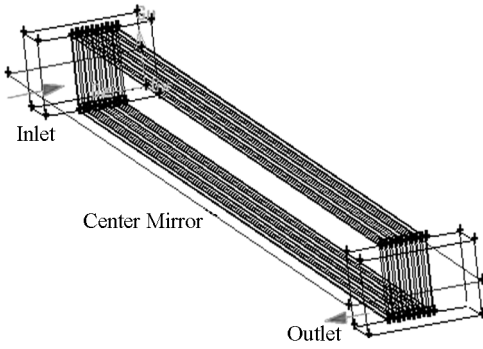


图 1 PEMFC 阴极流场 3 维图

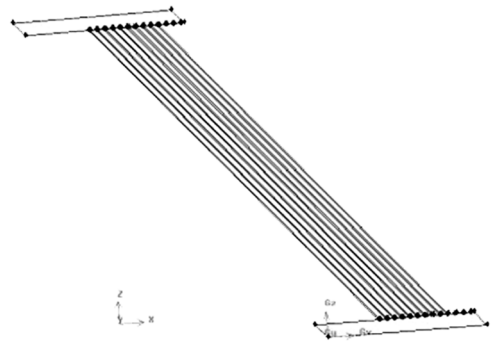


图 2 PEMFC 阴极流场中心镜面图

参照 Ballard 9SSL V4 型电堆数据手册设定模型的结构尺寸如表 1 所示:

表 1 几何模型结构尺寸

	长/m	宽/m	厚/m
总分配管	0.038	0.03	0.0175
单片电池	0.67	0.000 3	0.017 5

1.2 单片电池电压模型

本文采用集总参数模型作为 PEMFC 单片电池数学模型^[7-9]. 本文使用如下参数(括号中为单位): $E_{\text{ocv, ideal}}$ 为 PEMFC 的理想开路电压; $E_{\text{act, loss}}$ 为活化极化过电压; $E_{\text{ohm, loss}}$ 为欧姆极化过电压; $P_{\text{H}_2}^*$ 为有效氢气分压(atm); $P_{\text{O}_2}^*$ 为有效氧气分压(atm); $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{sat}}$ 为对应于电堆工作温度的饱和水蒸气压力(atm); P_{ca} 为阴极工作压力(bar); $P_{\text{ca, in}}$ 为阴极入口压力(bar); $P_{\text{ca, out}}$ 为阴极出口压力(bar); P_{an} 为阳极工作压力(bar); $P_{\text{an, in}}$ 为阳极入口压力(bar); $P_{\text{an, out}}$ 为阳极出口压力(bar); $T_{\text{cw, in}}$ 为冷却水入口温度(K); $T_{\text{cw, out}}$ 为冷却水入口温度(K); φ 为气体相对湿度; λ_{ca} 为空气过量系数; χ_{O_2} 为空气中氧气的摩尔分数, 0.21; $c_{\text{O}_2}^*$ 为阴极流场氧气摩尔浓度(mol/cm^3); I_{fc} 为电堆电流(A).

为了简化计算, 不考虑燃料电池的浓差极化, 则单片电池电压可表示为:

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{ocv, ideal}} + E_{\text{act, loss}} + E_{\text{ohm, loss}}$$

$$E_{\text{ocv, ideal}} = 1.229 - 0.85 \times 10^{-3} \times (T_{\text{fc}} - 298.15) + 4.308 5 \times 10^{-5} \times T_{\text{fc}} \times \left[\ln(P_{\text{H}_2}^*) + \frac{1}{2} \ln(P_{\text{O}_2}^*) \right]$$

$$P_{\text{H}_2}^* = P_{\text{an}} - \varphi \times P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{sat}}$$

$$P_{\text{O}_2}^* = (P_{\text{ca}} - \varphi \times P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{sat}}) \times \frac{0.5 \times [\lambda_{\text{ca}} + (\lambda_{\text{ca}} - 1)]}{\frac{\lambda_{\text{ca}}}{\chi_{\text{O}_2}} - 0.5}$$

对于阴极、阳极的工作压力以及燃料电池的工作温度, 本文分别用阴极进出口压力的平均值、阳极压力的平均值以及冷却水净出口温度的平均值来代替, 所以阴极、阳极的工作压力和燃料电池工作温度的表达式为:

$$P_{\text{ca}} = 0.5 \times (P_{\text{ca, in}} + P_{\text{ca, out}})$$

$$P_{\text{an}} = 0.5 \times (P_{\text{an, in}} + P_{\text{an, out}})$$

$$T_{\text{fc}} = 0.5 \times (T_{\text{cw, in}} + T_{\text{cw, out}})$$

$$E_{\text{act, loss}} = -0.951 4 + 3.12 \times 10^{-3} \times T_{\text{fc}} + 7.4 \times 10^{-5} \times T_{\text{fc}} \times \ln(C_{\text{O}_2}) - 1.87 \times 10^{-4} \times T_{\text{fc}} \times \ln(I_{\text{fc}})$$

$$E_{\text{ohm, loss}} = -I_{\text{fc}} \times (3.30 \times 10^{-3} - 7.55 \times 10^{-6} \times T_{\text{fc}} + 1.10 \times 10^{-6} \times I_{\text{fc}})$$

2 结果与分析

本文通过对 10 个单片电池的水冷型 PEMFC 的阴极流场进行模拟分析, 设定燃料电池输出电流分别为 180 A, 240 A, 300 A, 同时燃料电池在不同输出电流条件下的工作温度分别设定为 333 K 和 338 K. 工作温度 333 K, 338 K 所对应的饱和水蒸气压力分别为 25 k, 20 k, 反应气体的相对湿度均设定为 100%, 操作压力为 0.1 MPa. 实验结果见图 3—图 6.

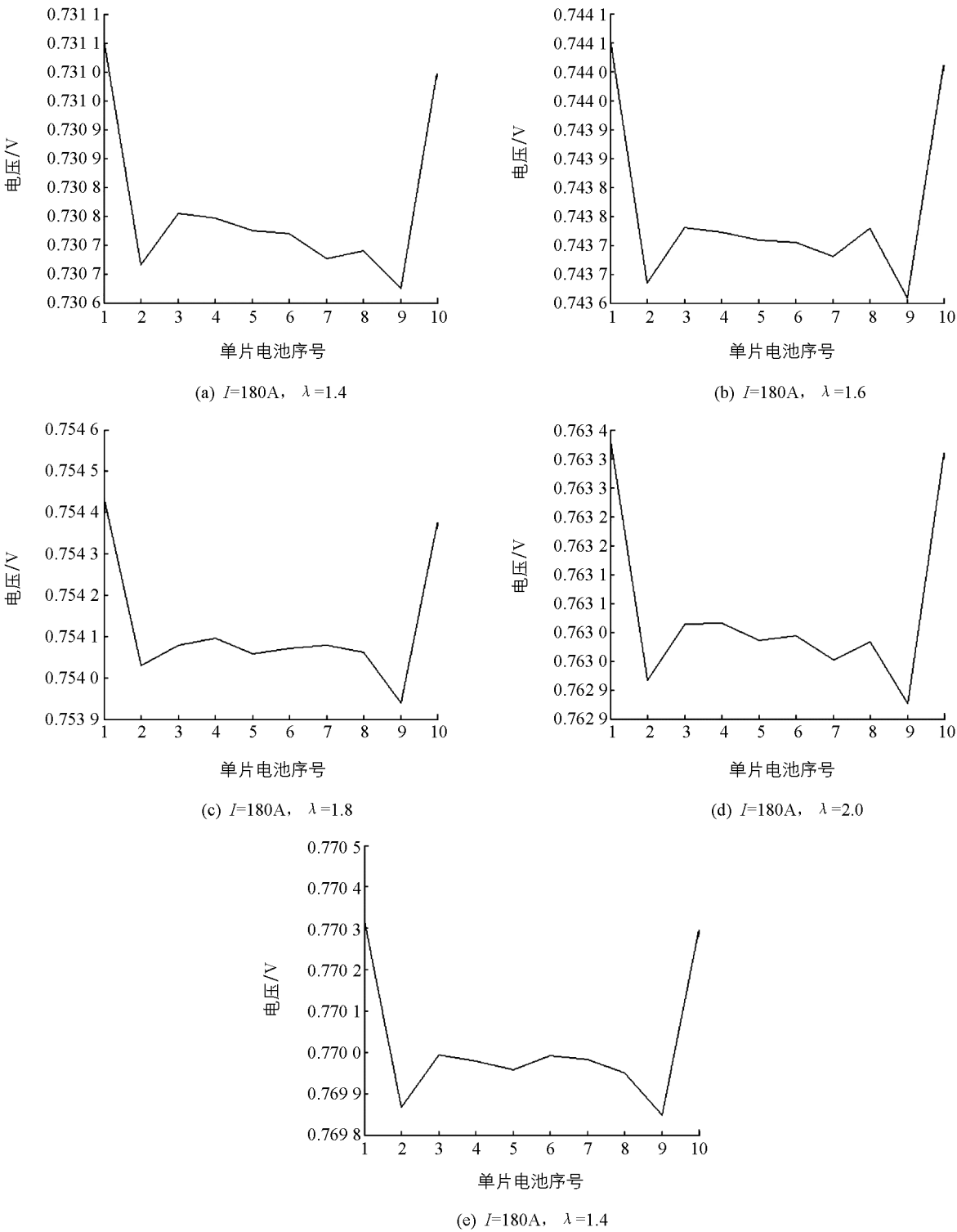


图 3 $I=180\text{ A}$ 时 PEMFC 电堆单片电池电压曲线

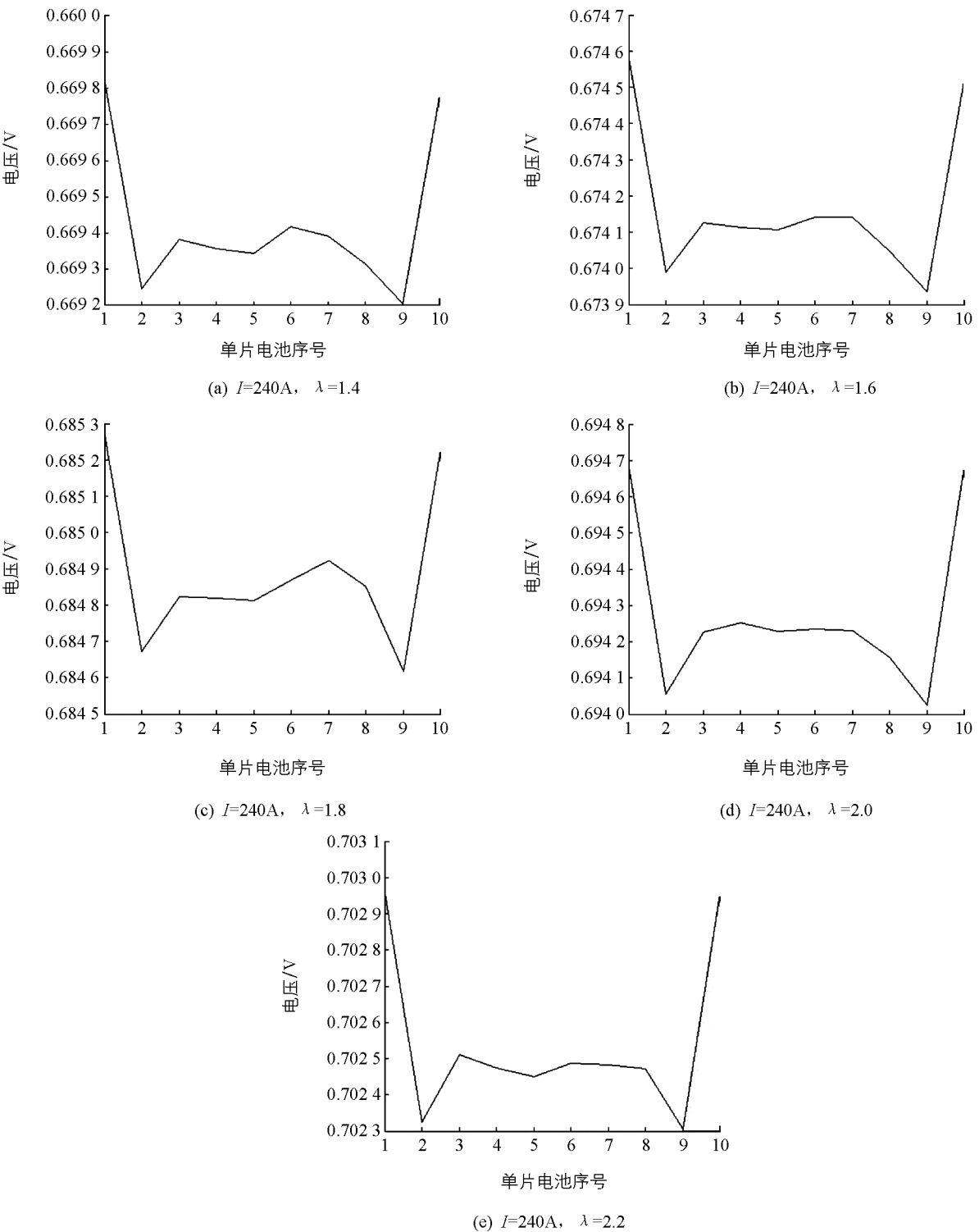


图 4 $I=240\text{A}$ 时 PEMFC 电堆单片电池电压曲线

本文没有考虑阳极侧对电压均衡性的影响,只是将阳极侧的入口压力设定为始终比阴极侧入口压力大 0.2 bar 的简化处理. 图 3,4,5 分别是电堆输出电流为 180 A,240 A,300 A 时,空气过量系数分别为 1.4, 1.6,1.8,2.0,2.2 时,单片电池电压的曲线图. 从图中可以看出,在整个电堆中,位于电堆两侧和中间部分的单片电池之间的电压差值变化较为明显,尤其是在靠近电堆分配管末端的几片单片电池的电压变化最为剧烈,电压变化主要出现在第一片电池电压与第二片电池电压,第九片电池电压与第十片电池电压. 从图中可以看出在输出电流一定的条件下,电堆每片单电池电压随着空气过量系数 λ 的增大而增大,在过氧比系数一定的条件下,电堆输出电压随着电堆输出电流的增大而减小,符合 PEMFC 自身的输出特征.

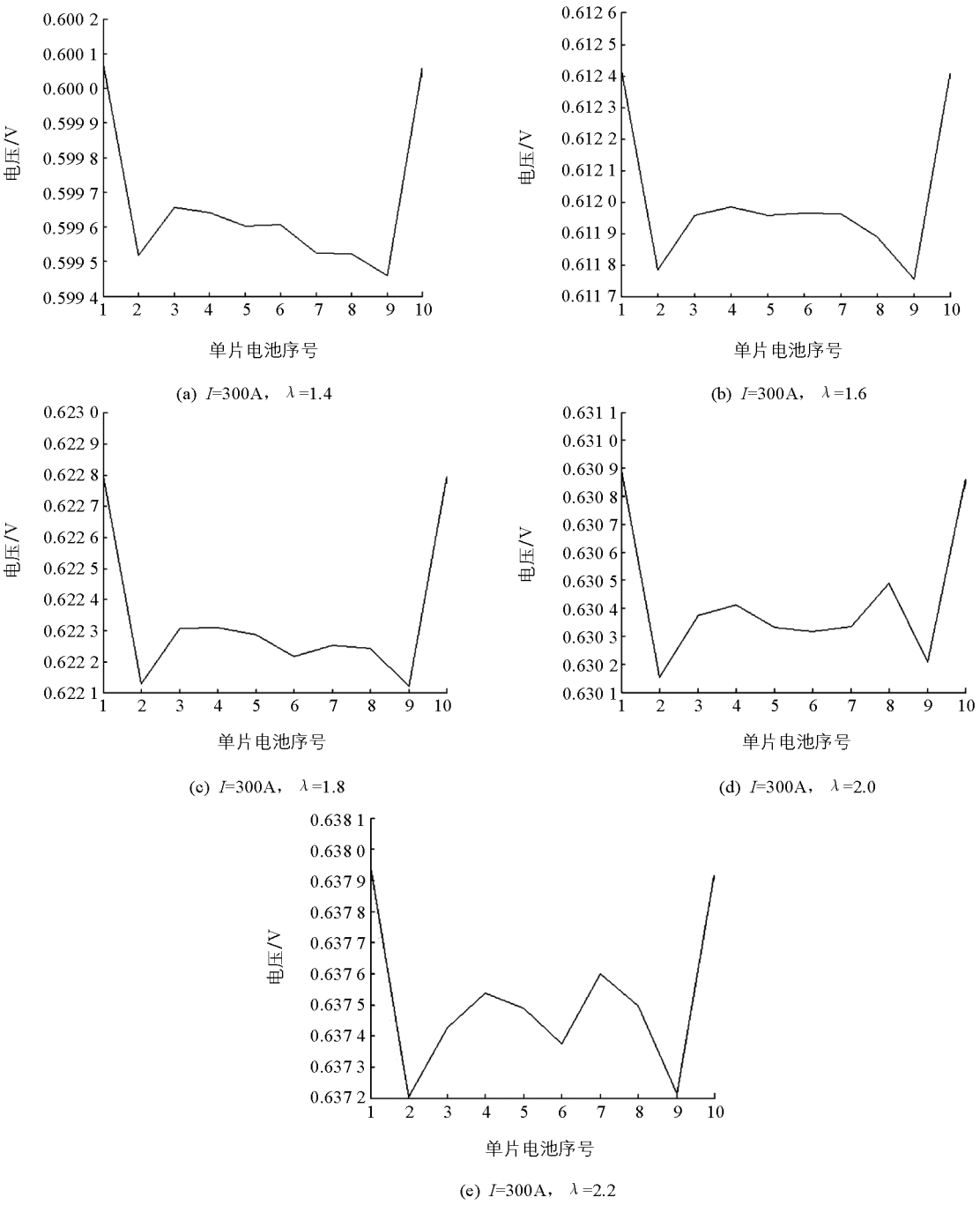


图 5 $I=300\text{A}$ 时 PEMFC 电堆单片电池电压曲线

图 6 为在不同输出电流的情况下, PEMFC 电堆各单片电池电压差值随空气过量系数 λ 变化的趋势图。由图可知, 在低电流条件下, 单片电池电压的均衡性随着 λ 值的变化趋势相同, 在过氧比系数为 2.0 时, 单片电池电压存在较为明显的均衡性; 然而在高电流情况下, 过氧比系数为 2.0 时, 单片电池电压存在明显的非均衡性。实验当中, 由于模拟的电堆单片电池数量较少, 单片电池的电压差值较小, 但总体变化趋势依然可以证明在不同的电堆输出电流条件下, 电压均衡性最优时 λ 的

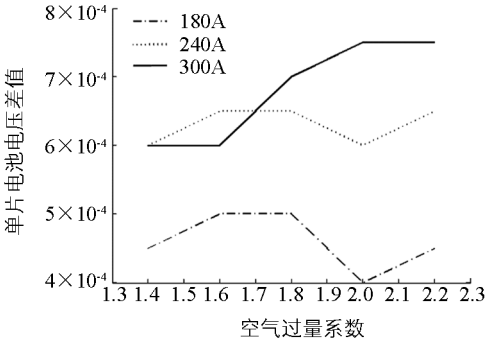


图 6 空气过量系数与单片电池电压差值关系曲线

取值存在明显差异性.

3 结 论

本文通过 CFD 流体模拟与数学模型相结合的仿真方法,对水冷型 PEMFC 的单片电压电池的均衡性进行模拟验证分析.通过建模分析可知,PEMFC 输出电流不同时,使得单片电池电压均衡性达到最优的空气过量系数 λ 也不同.因此,在实际的控制过程中,为了保证单片电池电压具有较好的均衡性,需要实时调节空气过量系数,从而改善燃料电池性能.本文通过建模分析得到不同输出电流条件下使单片电池电压均衡性达到最优时的空气过量系数,这为后续在实际应用中电堆阴极侧的空气进气量的控制提供了指导和参考依据.

参考文献:

- [1] 衣宝廉. 燃料电池的原理、技术状态与展望 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 侯 明, 衣宝廉. 燃料电池技术发展现状与展望 [J]. 电化学, 2012, 18(1): 1—12.
- [3] 詹姆斯·拉米尼, 安德鲁·迪克斯. 燃料电池系统——原理·设计·应用 [M]. 朱 红, 译. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4] 刘志祥, 王 诚, 毛宗强. 质子交换膜燃料电池空气流场的优化设计 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(12): 2081—2085.
- [5] 杨 武, 裴普成, 武洁云. 燃料电池发动机空气系统特性的仿真 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(5): 705—707.
- [6] PATHAPATI P R, XUE X, TANG J. A New Dynamic Model for Predicting Transient Phenomena in PEM Fuel Cell System [J]. Renewable Energy, 2005, 30(1): 1—22.
- [7] AMPHLETT J C, BAUMERTR M, MANNR F. Performance Modeling of the Ballard Mark IV Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell I Mechanistic Model Development [J]. Electrochem Soc, 1995, 142(1): 1—9.
- [8] AMPHLETT J C, BAUMERTR M, MANNR F. Performance Modeling of the Ballard Mark IV Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell II Empirical Model Development [J]. Electrochem Soc, 1995, 142(1): 9—15.
- [9] AMPHLETT J C, MANN R F. A Model Predicting Transient Responses of Proton Exchange Membrane Fuel Cells [J]. Power Sources, 1996, 61(1/2): 183—188.

The OER Test Research for the Voltage Balan of PEMFC

LIU Lu-ping¹, LI Yan-kun²

1. Chongqing Water Resources and Electric Engineering College, Yongchuan Chongqing 402160, China;

2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract: In this paper, referring to water-cooled proton exchange membrane fuel cell (PEMFC), the cathode flow field in PEMFC was simulated by CFD. While, using a lumped parameter model of PEMCF to verify the balance of single chip voltage, and work out the OER Corresponding to the best Status of Voltage balancing with different output currents. In the practical work, the conclusion can conduce to improve the voltage balance, fuel cell performance and battery lifetime with controlling the air volume.

Key words: PEMFC; Voltage balan; OER; Air Flow controlling

