

基于 ANSYS 的 PEM 单电池组装应力分析

项忠晓, 泮国荣, 徐国峰, 赵 依, 胡桂林, 李国能

(浙江科技学院 轻工学院, 杭州 310023)

摘 要: 采用 ANSYS 软件对质子交换膜燃料电池单电池装配进行有限元分析。分析了 300、400、500、600 N 等不同大小的载荷对装配的影响, 对比了这 4 种载荷下燃料电池堆的核心部件膜电极组件的变形情况及应力分布情况, 得出燃料电池单电池的最佳装配压力为 400 N。该结果可为燃料电池堆的组装提供较好的参考依据。

关键词: 质子交换膜燃料电池; ANSYS 软件; 应力分析; 组装

中图分类号: TM911.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2013)01-0010-05

Stress analysis of PEMFC assembly based on ANSYS

XIANG Zhongxiao, PAN Guorong, XU Guofeng, ZHAO Yi, HU Guilin, LI Guoneng

(School of Light Industry, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: A finite element analysis of PEMFC assembly based on software ANSYS is conducted. The effects of loads on the assembly have been done and compared as 300, 400, 500 and 600 N. The distribution of stress and deformation of the core component MEA under four different loads are obtained and compared. It indicates that the pressure load 400 N can obtain best assembly. Results can be used as the reference for assembly of fuel cell stack.

Key words: proton exchange membrane fuel cell (PEMFC); ANSYS; stress analysis; assembly

由于传统能源的不断紧缺及传统能源使用造成的污染不断加剧, 新能源的开发逐渐受到各界关注。质子交换膜燃料电池(PEMFC)作为一种新型能源, 具有零污染、零排放、噪声低、结构紧凑、高效且无需充电及启动快速等优点, 是目前世界上最成熟的一种将氢气和氧气结合产生纯净水并释放电能的装置^[1-3]。

现阶段, 燃料电池的装配主要依靠经验和手工装配, 这种装备工艺效率差、精度低且手工操作失误多, 从而大大增加了 PEMFC 的制造成本^[4]。在电池的装配过程中, 装配压力过大过小均会对电池性能

收稿日期: 2012-12-11

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(R1100065); 浙江科技学院交叉预研专项项目(2011JC01Z)

作者简介: 项忠晓(1991—), 男, 浙江省温州人, 2009 级包装工程专业本科生。

通信作者: 胡桂林, 教授, 博士, 主要从事燃料电池和多相流研究。

造成影响,甚至损坏电池。若装配压力过大,会造成膜电极(membrane electrode assembly, MEA)过度压缩变形,影响气体传输并可能损坏 MEA,且流道由碳板压制而成,其压力过大会损坏碳板;若装配压力过小,则可能造成密封性不佳,造成氢气等危险气体泄漏,且加大电池组件间的接触电阻。目前,国内外对燃料电池的装配过程进行模拟的研究还很少。Yim 等^[5]研究了燃料电池在不同装配压力下对电池性能的影响。Lin 等^[6-7]在对燃料电池进行有限元分析时,根据模型的对称性,取模型的 1/8,通过设置对称边界条件,研究了电池的组装,大大提高了运算效率。本研究拟对 PEMFC 装配过程进行建模和分析,得出燃料电池的最佳装配力装备工艺,以提高效率、降低成本。

1 有限元建模

1.1 建 模

ANSYS Workbench 是一个集有限元建模、有限元前后处理、有限元分析于一体,并能与多种工程分析软件连接的优秀的协同仿真平台^[8-9]。本研究应用 ANSYS Workbench 来对燃料电池的装配进行建模、有限元分析。

本研究中的 PEM 燃料电池由 1 片 MEA、2 片流道板、2 条密封圈、2 片端板及 4 套螺帽螺杆构成,其装配示意图如图 1 所示。表 1 为电池各组件的计算用物性参数及其尺寸。

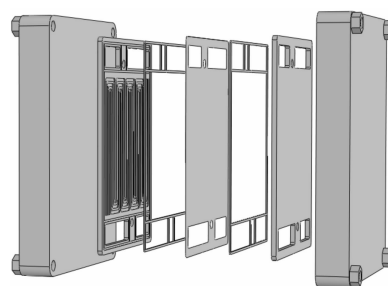


图 1 质子交换膜燃料电池的装配示意图
Fig. 1 Assembly diagram of PEMFC

表 1 PEM 电池各组件的尺寸和材料物性参数

Table 1 Dimensions and material properties of PEMFC components

组件名称	材料	弹性模量/Pa	泊松比	尺寸/mm
端板	不锈钢	1.97×10^{11}	0.3	$121 \times 96 \times 15$
碳板	碳粉、石墨粉	2.2×10^9	0.394	$101 \times 76 \times 22$
MEA	复合	2.1×10^7	0.1	$101 \times 76 \times 0.1$
密封圈	聚四氟乙烯硅胶	1.19×10^6	0.48	$97 \times 22 \times 0.6$
螺帽	不锈钢	1.97×10^{11}	0.3	M5

流场板是由碳粉添加黏结剂压制而成的,其内部气体流道如图 2 所示。而密封圈垫垫于流道的凹槽处将槽道分成 5 个区域,分别为氢气入口、氢气出口、氧气入口、氧气出口及内部流道。由于反应时需要氢气的气量是氧气的 2 倍,因此槽道的深度应该不同,约为 2:1,为了减小计算量,此建模中将两面槽道的深度设为一致。端板由金属电极和金属端板构成,为了减小计算量,在建模时将金属电极和金属端板合并为一。

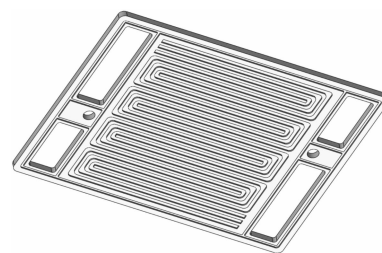


图 2 燃料电池气体流场板

Fig. 2 Gas flow field of PEMFC

1.2 网格划分

ANSYS 软件是一款有限元分析软件,而对于有限元分析来说,网格划分是其中最关键的一个步骤,网格划分的质量直接影响到计算结果的精度和效率^[10]。网格划分越精细,结果越精确,但其分析时间就相应加长。因此,网格划分要有规划,对精度要求较高的部件,应减小网格尺寸,加大网格密度;而对精度要求较低的部件,则加大网格尺寸,减小网格密度,从而使分析效率提高且不影响其计算精度。由于要研究一定装配压力下 MEA 两端是否与流道密封且完全接触,因此需要加大 MEA 的网格划分数量。对 MEA 独自划分网格,考虑到 MEA 整个部件厚度较薄,故采用平面网格划分法,网格质量良好,如图 3 所示。而其余部件则采用系统智能划分法,其网格如图 4 所示。对整个装配体进行了不同网格情况下的计算,结果表明 453 834 个节点和 489 987 个单元时能够满足计算精度的要求。

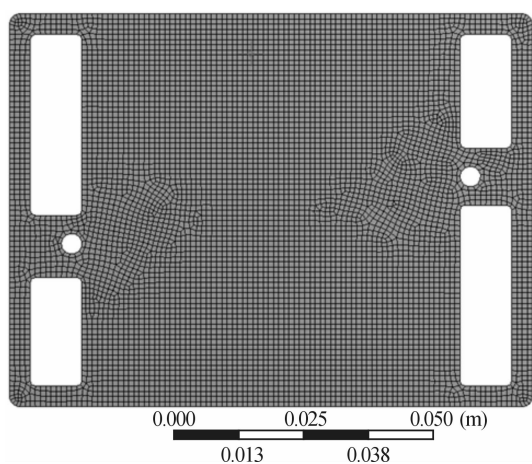


图 3 MEA 网格划分

Fig. 3 MEA meshing

1.3 接触方式

由于 PEMFC 的各个部分之间有接触,需要定义适当的接触方式。密封圈嵌入流道中,假设其只能压缩变形,而不能膨胀变形。因此,定义密封圈与流道的关系为不可分离。而端板与流道、密封圈与 MEA、螺帽与端板之间不能有 X、Z 方向的相互运动,只能有 Y 方向上的相互运动,则定义其为接触关系,且限制其 X、Z 方向的相互运动。

2 应力分析

2.1 加载压力载荷

通过对 8 个六角螺帽加力来代替 4 套螺杆、螺帽的预紧力。针对燃料电池的装配工艺,在 8 个螺帽上分别加上 500 N 的力,来模拟计算传统装配工艺中燃料电池的受力情况及其变形情况,见图 5。

2.2 燃料电池各部件变形情况及应力分布情况

图 6 为单电池在不同装配应力下的应力分布情况,在 4 个不同加载力(300、400、500、600 N)的情况下,PEM 单电池均有相似的应力分布情况。即在 4 个螺栓附近的应力最大,在各条边的中间位置应力最小;随着压力的增大,应力增大。短边中间的应力要大于长边中间的应力,这主要是由于更长的边其分布更不均匀,集中在螺栓周围。

图 7 为不同压力载荷下 MEA 的变形情况。对于 MEA 来说其 4 个角受力较大,且中部变形稍大于除 4 个角以外的其余部分。这是因为螺栓分布在端板的 4 个角上,由于不锈钢短板的少量变形,从而造成 MEA 的 4 个角的变形较大而其余部分较小。由于 MEA 中间部分有槽道状分布的变形,则可说明 MEA 与氢气、氧气槽道有良好接触,没有因为端板的变形,造成中间隆起,从而发生中间不良接触的现象。而从 4 个角的变形情况来看,有密封圈的地方出现少量隆起变形,而密封圈的两边均有少量向下变形。这是由于密封圈相对于流道有 0.1 mm 的突出,从而造成 MEA 的这种变形情况。

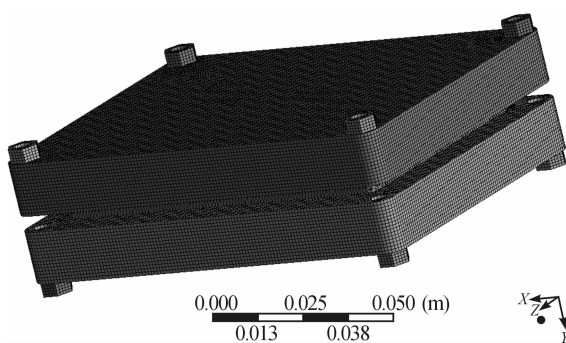


图 4 质子交换膜燃料电池总体网格划分

Fig. 4 PEMFC overall meshing

A: Static Structural
Force 8
Time: 1 s
2013/1/3 21:08
Force 1: 500 N
Force 2: 500 N
Force 3: 500 N
Force 4: 500 N
Force 5: 500 N
Force 6: 500 N
Force 7: 500 N
Force 8: 500 N

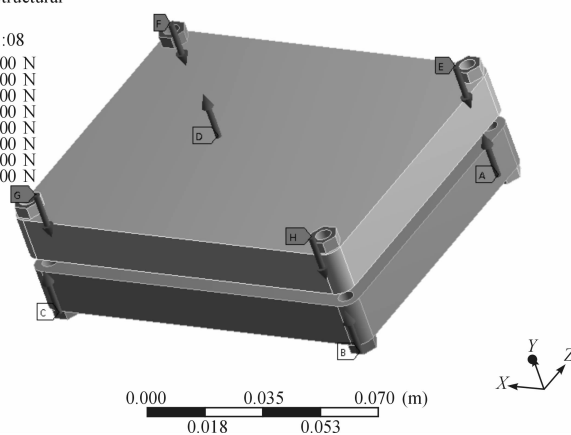


图 5 装配压力加载示意图

Fig. 5 Diagram of assembly pressure loading

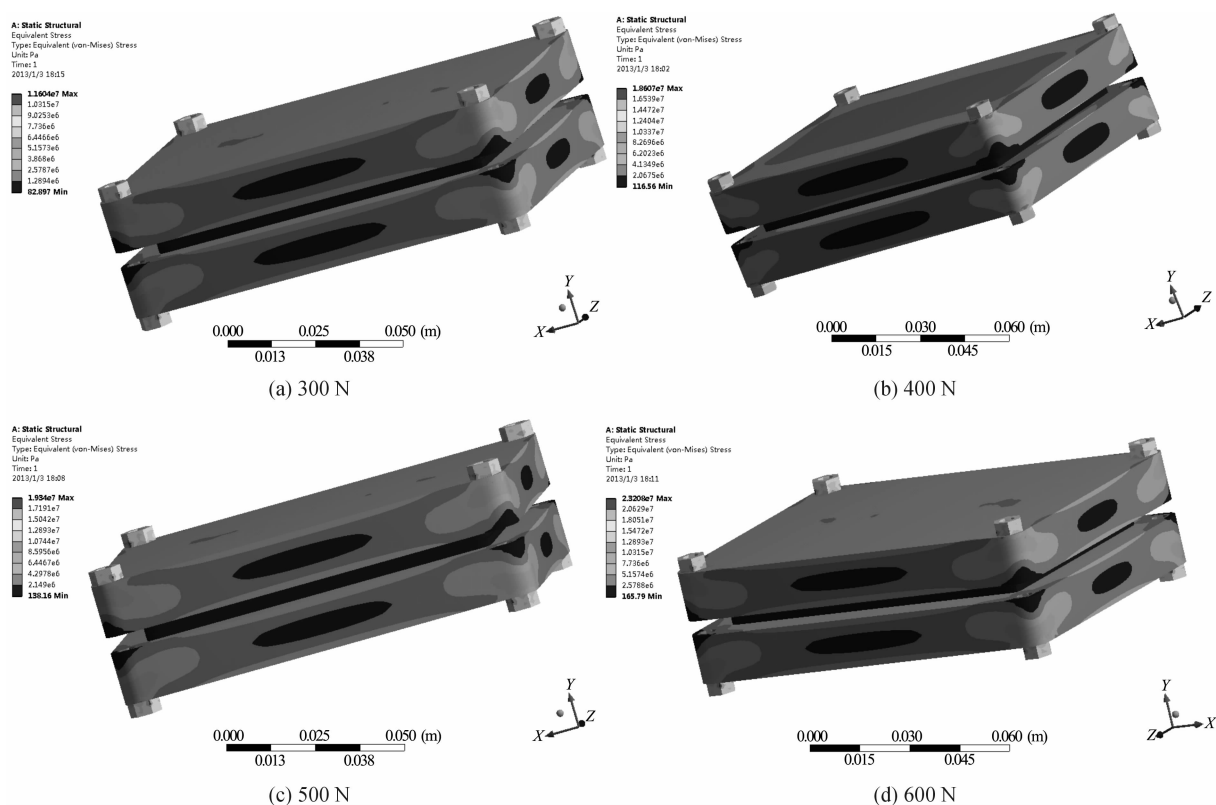


图 6 单电池在不同载荷下的应力分布云图

Fig. 6 Stress contour under different pressure loads

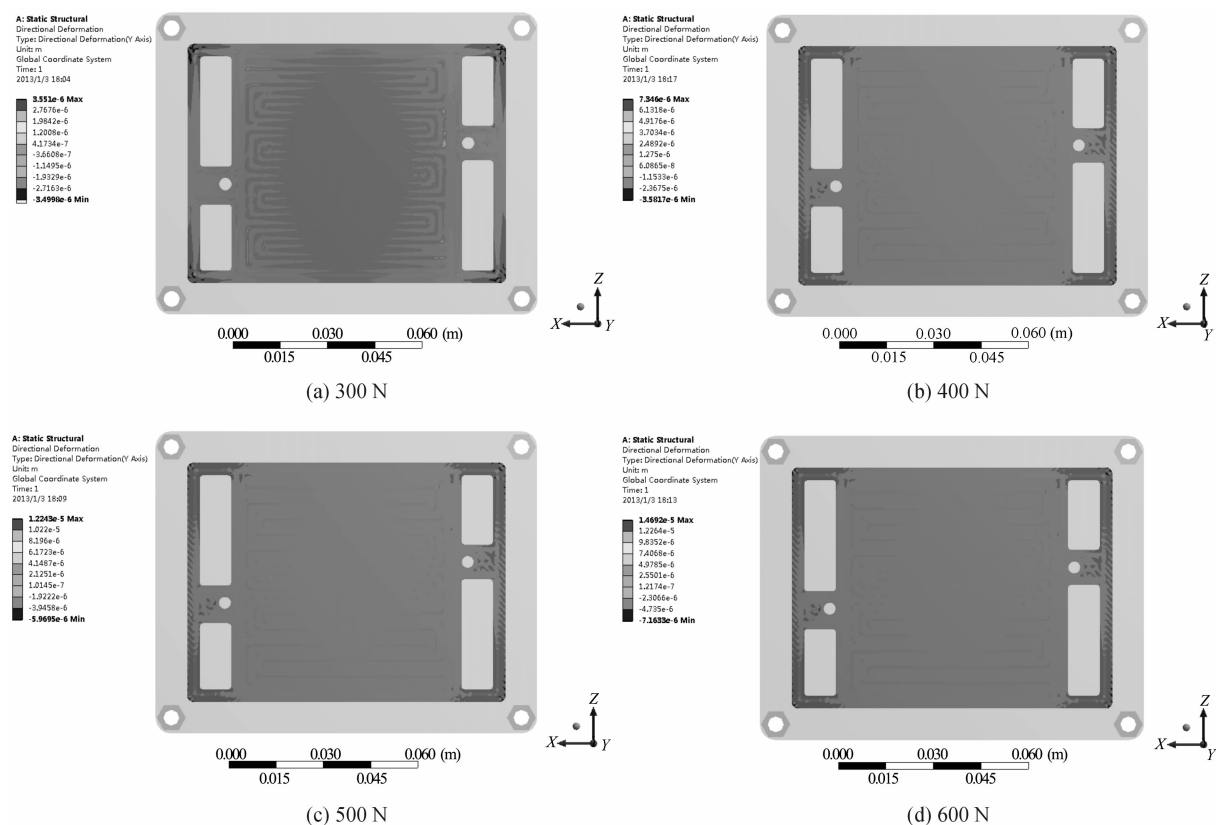


图 7 不同压力载荷下 MEA 的变形量

Fig. 7 Deformation contour of MEA under different pressure loads

3 结 语

本研究应用 ANSYS 软件模拟了质子交换膜燃料电池的装配过程,分析了各组件在传统装配工艺条件下的变形和应力分布情况,重点分析了 MEA 的变形分布规律,由此来验证 MEA 是否密封且与流道完全接触;比较和分析了 300、400、500、600 N 4 种不同加载对装配的影响。结果表明,由于螺栓的作用,端板发生少量翘曲变形,从而导致各组件接触应力分布不均;400 N 的装配压力为最佳。此结果可为质子交换膜燃料电池的装配提供一定的指导。

参考文献:

- [1] 唐永华. 燃料电池发动机测试系统及试验方法研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2006.
- [2] 于平,周平,吴承伟,等. 燃料电池复合材料结构螺纹孔联接的应力分析[J]. 电源技术,2007,31(2):160-163.
- [3] 贺建军,孙超. 质子交换膜燃料电池的建模与仿真分析[J]. 中南大学学报,2010,41(2):566-571.
- [4] 干频,刘冬安,冯力中. 金属极板燃料电池电堆接触压力的分布规律[J]. 机械设计与研究,2010,26(5):134-138.
- [5] Yim S D, Kim B J, Sohn Y J, et al. The influence of stack clamping pressure on the performance of PEM fuel cell stack[J]. Current Applied Physics,2010,10(S2):59-61.
- [6] Lin P, Zhou P, Wu C W. A high efficient assembly technique for large PEMFC stacks: Part I Theory[J]. Journal of Power Source,2009,194(1):381-390.
- [7] Lin P, Zhou P, Wu C W. A high efficient assembly technique for large proton exchange membrane fuel cell stacks: Part II Applications[J]. Journal of Power Source,2010,195(5):1383-1392.
- [8] 李范春. ANSYS workbench 设计建模与虚拟仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
- [9] 小飒工作室. ANSYS 及 workbench 教程[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [10] 袁国勇. ANSYS 网格划分方法的分析[J]. 现代机械,2009(6):59-60.

启 事

为适应我国信息化建设的需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》全文数据库、《万方数据——数字化期刊群》、《中文科技期刊数据库》、《中国科技论文在线》和《台湾华艺 CEPS 中文电子期刊》,并被俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《化学文摘》(CA)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、美国《乌利希国际期刊指南》、波兰《哥白尼索引》(IC)和中国《电子科技文摘》收录,作者著作权使用费随本刊稿酬一次性给付。如果作者不同意将文章编入有关数据库,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。