

## 扭矩对高温燃料电池性能的影响及优化

张 创<sup>1-3</sup>, 蒋国璋<sup>1</sup>, 王 诚<sup>2</sup>, 汪 云<sup>3</sup>, 贾志勇<sup>3</sup>, 陈运星<sup>3</sup>

(1. 武汉科技大学机械自动化学院, 武汉 430080; 2. 清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084;

3. 湖北文理学院汽车与交通工程学院, 襄阳 441000)

**摘 要:** 首先介绍全新设计有效面积为  $1\text{ cm}^2$  的高温质子交换膜燃料电池 (high temperature polymer electrolyte membrane fuel cell, HTPEM), 并得到最佳气流量和温度实验条件。然后, 对不同厚度密封垫圈下电池装配扭矩进行系统研究, 结合 MEA 各组件原始厚度横切示意图; 不仅对电池性能提高提供参考依据, 还得到最佳密封垫圈厚度和扭矩配合范围。最后通过设计压力装置, 测试组成膜电极 (membrane electrode assemblage, MEA) 各部件或材料的厚度和体积随压力的变化情况, 验证建立力学模型的可行性, 并从电池内部解释扭矩影响 HTPEM 性能的原因。

**关键词:** 燃料电池; 扭矩; 密封垫圈; 膜电极

**中图分类号:** TK91

**文献标识码:** A

## 0 引 言

对比传统燃料电池 (fuel cell, FC), 高温质子交换膜燃料电池 (high temperature polymer electrolyte membrane fuel cell, HTPEM) 以其催化剂不易受  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}$  等的毒化和无需复杂水热管理系统而受到人们关注<sup>[1,2]</sup>。然而, 目前 HTPEM 的装配问题还有待优化, 如密封垫圈的材料、厚度的选择和通过扭力扳手在夹具之间施加的夹紧力就是难点之一<sup>[3,4]</sup>。

夹紧力因影响 FC 膜电极 (membrane electrode assembly, MEA) 工作状态而影响 FC 寿命和性能<sup>[5]</sup>。夹紧力过小, 会使气体扩散层 (gas diffusion layer, GDL) 和双极板 (bipolar plate, BPP) 接触不充分而产生较高接触电阻, 并出现阴极水外溢和阳极氢气 ( $\text{H}_2$ ) 泄露<sup>[6]</sup>; 夹紧力过大, 会使电池部件产生变形、开裂等现象, 如密封垫圈的变形堵塞流道, 另外 GDL 孔隙度、渗透率会变小而使气体和水等无法进入和排出, 导致催化层 (catalyst layer, CL) 传质受阻和催化剂催化活性位点减少, 而影响电池性能<sup>[7]</sup>。

本文设计有效活性面积为  $1\text{ cm}^2$  的 HTPEM 单电池, 先通过对阴、阳两极密封垫圈选材, 并通过扭力扳手改变阴极各种不同配合厚度密封垫圈夹紧

力, 最后对单电池进行电化学测试。通过分析各极化曲线在  $200\text{ mA/cm}^2$  电流密度下对应的电压变化趋势, 说明扭矩和密封垫圈对电池性能影响的因素。结果显示, 密封垫圈的选材、厚度和扭矩之间存在最优配合范围, 为优化 HTPEM 和传统 FC (如低温质子交换膜燃料电池) 性能提供全新思路。

## 1 实 验

### 1.1 电极和 MEA 的制备

电极由  $1\text{ mL}$  酒精和  $15.67\text{ mg}$  60% 商用 Pt/C 催化剂 (DuPont 公司) 直接混合超声  $1\text{ h}$  后, 利用喷涂技术喷涂在碳布 (Textron 公司) 上, 自然干燥制得。电极载 Pt 量为  $0.7\text{ mg/cm}^2$ 。

图 1 为 MEA 结构示意图。MEA 的制作通过电极和实验室 (丹麦技术大学) 合成的 PBI (2, 2' (m-phenylene)-5, 5' benzimidazole) 膜, 原位组装制作而成。其中, PBI 膜磷酸掺杂水平 (acid doping level, ADL) 为 8 (掺杂前膜厚度约为  $45\text{ }\mu\text{m}$ , 掺杂后为  $90\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ ):

$$L_{\text{ADL}} = \frac{w_1 - w_0}{w_0 m_1} m_0 \quad (1)$$

式中,  $L_{\text{ADL}}$  ——磷酸掺杂水平;  $w_0$ 、 $w_1$  ——PBI 膜在掺杂磷酸前、后的质量, g;  $m_0$  ——PBI 单元分子

收稿日期: 2016-08-17

基金项目: 国家电网公司科技项目 (SGRI-DL-71-14-012); 武汉科技大学研究生短期出国 (境) 研修专项经费

通信作者: 王 诚 (1974—), 男, 博士、副研究员, 主要从事燃料电池、金属空气电池等方面的研究。wangcheng@tsinghua.edu.cn

(单元分子结构如图 2 所示)质量,取 308 g/mol;  
 $m_1$ ——磷酸分子质量,取 98 g/mol<sup>[8]</sup>。

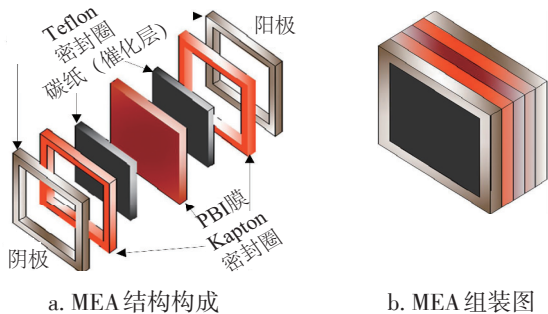


图 1 MEA 组成部分及组装结构示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of MEA components and assembly structure

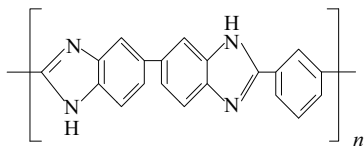


图 2 单元 PBI 化学式结构示意图  
Fig. 2 Poly 2,2'(m-phenylene)-5,5' benzimidazole

## 1.2 密封垫圈材料和厚度的选择

密封垫圈在 HTPeM 中用于隔绝阴极、阳极,防止气体泄露,并在电池工作时起到绝缘作用,保证阴极、阳极的反应在各自流场进行<sup>[4,6,9]</sup>。因为 BPP 在高温高压下工作,所以密封垫圈材质和厚度将直接影响电池性能。不同接触面因密封垫圈选材而异,结合图 3 示出 MEA 装配前横切示意图,PBI 膜接触面使用聚酰亚胺薄膜(DuPont 公司,Kapton),BPP

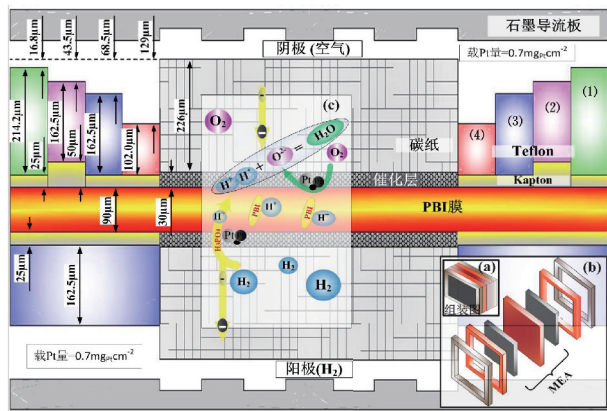


图 3 各不同材质及厚度密封垫圈组装前 MEA 横切面结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the original MEA cross section structure before assembly

石墨板接触面使用聚四氟乙烯膜(DuPont 公司,Teflon)。表 1 给出了聚酰亚胺薄膜的 3 种厚度和聚四氟乙烯膜的 3 种厚度,由测厚仪(Mitutoyo Absolute)多次测量取平均值得到。

表 1 密封垫圈材料  
Table 1 Used gasket materials

名称	材质	供应商	厚度/ $\mu\text{m}$
Kapton-25	聚酰亚胺	DuPont	25.0
Kapton-50	聚酰亚胺	DuPont	50.0
Kapton-75	聚酰亚胺	DuPont	75.0
Teflon-020	聚四氟乙烯	DuPont	214.2
Teflon-015	聚四氟乙烯	DuPont	162.5
Teflon-010	聚四氟乙烯	DuPont	102.5

## 1.3 电化学表征

### 1.3.1 HTPeM 单电池的制作和选择

电化学测试在有效面积为  $1\text{ cm}^2$  的 HTPeM 单电池上进行。电池由 2 个流场组成,组装先由 2 个镀银金属夹板夹住石墨板,然后用 30 mm 厚的硬铝夹具在 4 个不锈钢螺栓拧紧下组成。不同组合的密封垫圈厚度在通过控制扭矩扳手对每个螺栓均匀梯度施加  $0.3\sim 8.0\text{ N}\cdot\text{m}$  的扭矩。图 3 为 4 组密封垫圈均在电池达到稳态后进行测试。具体做法是:电池极限放电 2 h,保持电池在  $200\text{ mA}/\text{cm}^2$  稳定工作 2 h 后进行极化曲线测试;每次改变扭矩均在电池完全冷却后通过扭矩扳手实施。

### 1.3.2 HTPeM 实验温度的选择

温度是 HTPeM 重要的条件,温度太低会影响 PBI 膜的传质而影响电池性能;温度太高会导致聚四氟乙烯膜、聚酰亚胺薄膜和 PBI 膜的损坏<sup>[10]</sup>。实验选择空气、 $\text{H}_2$  压力均为 1 个大气压(约 100 kPa),化学计量参数  $\lambda$  分别为 20 和 24。

### 1.3.3 HTPeM 化学计量参数 $\lambda$ 的选择

在一定电流密度下,HTPeM 的  $\lambda$  如果太小会导致催化剂的工作效率下降而影响电池性能;如果较大会导致能源的损耗而不能体现 FC 燃料绿色利用率的理想。本实验首先通过理论分析在得到单位电流密度情况所需要  $\text{H}_2$  和空气量,然后在实际中通过实验得到  $\text{H}_2$  和空气各自对应合适的  $\lambda$ <sup>[11]</sup>:

$$V_A = n_1 \lambda_1 \frac{P_e}{\alpha \beta_1 V_c F} \quad (2)$$

$$V_H = n_2 \lambda_2 \frac{P_e}{\beta_2 V_c F} \quad (3)$$

式中,  $V_A$ 、 $V_H$ ——空气、 $H_2$  的流速, mL/min;  $n_1$ 、 $n_2$ ——空气、 $H_2$  物质的量体积系数,  $n_1 = 8.844 \times 10^7$  mL/mol,  $n_2 = 9.06 \times 10^7$  mL/mol;  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ——空气、 $H_2$  的化学计量参数;  $P_e$ ——电池功率;  $\alpha$ ——空气中氧气的体积分数, 取值 0.21;  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ ——参与反应时单个 O 分子和 H 分子所得到和失去的电子数量,  $\beta_1 = 4$ 、 $\beta_2 = 2$ ;  $V_c$ ——电池对应电流的电压;  $F$ ——法拉第常数, 取 96485 C/mol。

## 2 结果与讨论

如图 4(图中  $V_{OCV}$  表示开路电压,  $I_{max}$  表示最大极限电流,  $V_{200}$  表示 200 mA/cm<sup>2</sup> 电流密度对应的电压值), 在单电池温度从 30 ℃ 升至 180 ℃ 的过程中, 开路电压变化较小, 说明整个过程未出现 MEA 的损坏, 但在低温区域时极限电流几乎为零; 当温度升至 90 ℃ 时, 电池开始出现极限电流, 且温度越高极限电流也越高; 200 mA/cm<sup>2</sup> 电流密度对应电流值也在不断增大, 说明电池性能虽得到优化但增幅明显下降且趋于稳定。此外, 受 PBI 膜自身物理、化学性质限制; 温度高于 200 ℃ 后, 电池寿命将迅速缩短, 且聚四氟乙烯膜将会变成熔融态而出现功能丧失。综合考虑, 实验选择温度为 160 ℃。

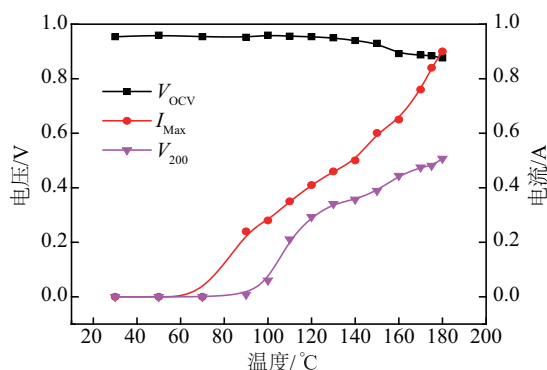


图 4 单电池在不同温度下的电池性能参数

Fig. 4 Performance parameters of the single cell at different temperatures

对 HTPEM 化学计量参数  $\lambda$  的选择, 由图 5 可知, 在 600 mA/cm<sup>2</sup> 电流密度下, 当  $\lambda_2$  足够大, 且为 32 时,  $\lambda_1$  从 8 增至 12 时, 性能明显增强, 但是继续增加时电压不变; 当  $\lambda_1$  为 12 时, 在  $\lambda_2$  降至 17 时出现电压下降。综合上述实验, 接下来的实验在 600 mA/cm<sup>2</sup> 电流密度下, 取  $\lambda_1 \approx 16$ 、 $\lambda_2 \approx 22$ 。

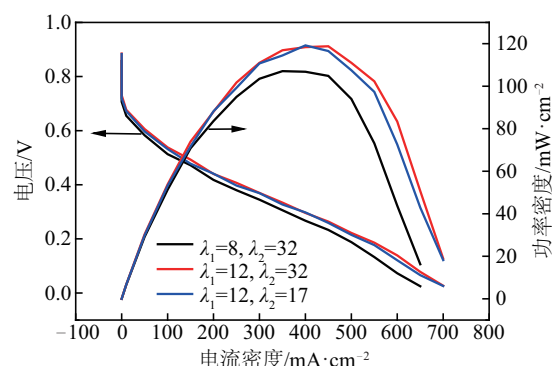


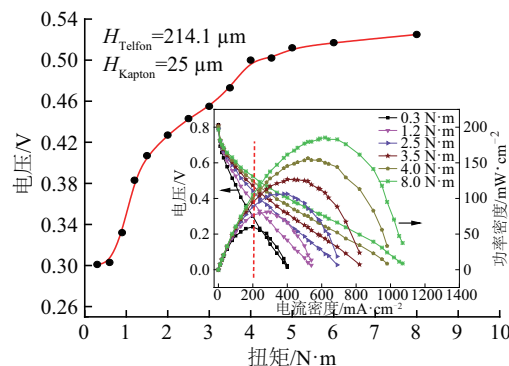
图 5 极化曲线——气体流量对电池性能的影响

Fig. 5 Polarization curve—influence of gas flow rate on the performance of cell

上述 2 个实验确定了空气、 $H_2$  各自的  $\lambda$  和温度等实验条件。

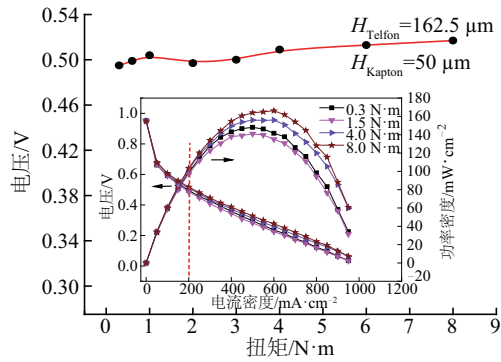
图 6a~图 6d 分别为不同聚四氟乙烯膜和聚酰亚胺薄膜组合而成的不同厚度密封垫圈, 并在各种密封垫圈下通过施加不同扭矩的电池极化曲线(其中,  $H_{Teflon}$ 、 $H_{Kapton}$  分别表示聚四氟乙烯膜和聚酰亚胺薄膜的厚度)。

通过改变扭矩得到极化曲线: 图 6a 表明在密封垫圈较厚时, 在较小扭矩下电池极限电流和最大功率密度均较小; 但随着扭矩的增大, 电池极限电流和最大功率密度随之增大, 电池性能得到优化, 最后达到稳态。图 6b 和图 6c 显示此时在小扭矩下亦能获得较高的极限电流和最大功率密度, 说明此时扭矩对 MEA 施加的夹紧力使 BPP 和 GDL, GDL 和 CL 能更好配合, 使电池达到最佳工作状态, 所以密封垫圈的合适厚度为 0.1875~0.2125 mm, 此时扭矩的增大对电池性能影响也较小。图 6d 则因密封垫圈太薄, 在扭矩较小时有较好的性能表现; 但当扭

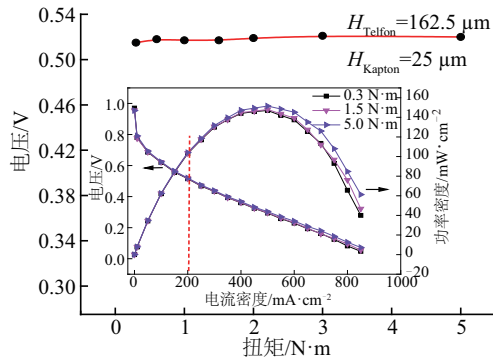


a. 密封垫圈厚度为 239.1  $\mu\text{m}$  极化曲线及 200 mA/cm<sup>2</sup> 电流密度对应的电压值变化

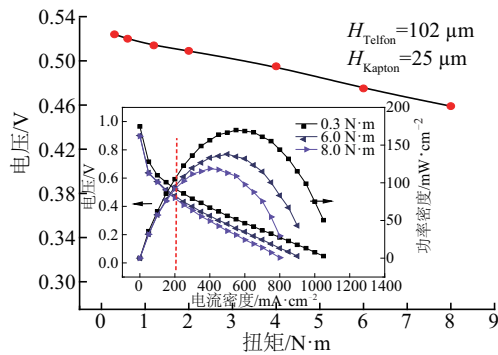




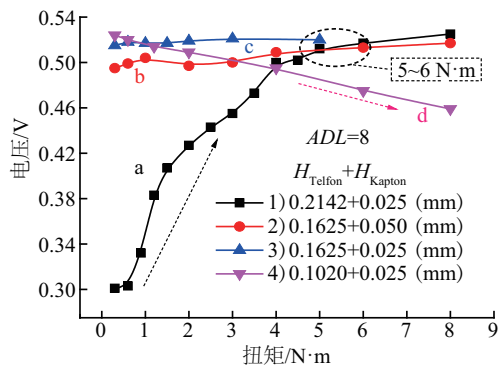
b. 密封垫圈厚度为 212.5  $\mu\text{m}$  极化曲线及 200  $\text{mA}/\text{cm}^2$  电流密度对应的电压值变化



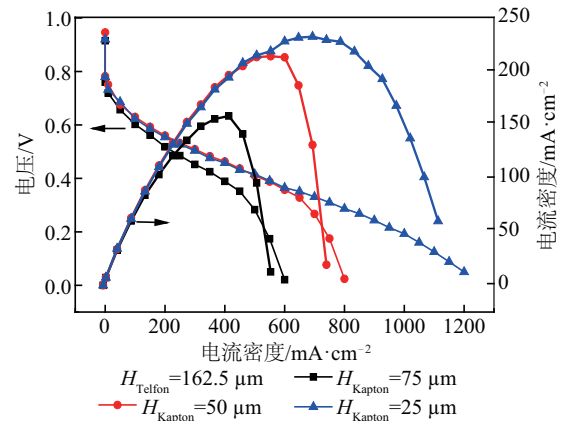
c. 密封垫圈厚度为 187.5  $\mu\text{m}$  极化曲线及 200  $\text{mA}/\text{cm}^2$  电流密度对应的电压值变化



d. 密封垫圈厚度为 127.0  $\mu\text{m}$  极化曲线及 200  $\text{mA}/\text{cm}^2$  电流密度对应的电压值变化



e. 4 种不同密封垫圈厚度下 200  $\text{mA}/\text{cm}^2$  电流密度对应的电压值



f. 厚度分别为 237.5、212.5  $\mu\text{m}$  和 187.5  $\mu\text{m}$  的密封垫圈对应的极化及功率密度曲线

图 6 不同厚度下变换扭矩得到对应的极化曲线

Fig. 6 Polarization curve-represents the variation of torque with different thickness gasket

矩增加时, 电池性能下降。说明此时 GDL、CL 被过度压缩, 使阴极 GDL 的孔隙度和渗透率减小; 并且 CL 孔隙率也迅速减小, 这将导致传质等受影响。

由上述分析并结合图 3 和图 6e (200  $\text{mA}/\text{cm}^2$  极限电流下 4 种不同密封垫圈各自电压的变化曲线) 可以初步得出结论, 载 Pt 量为 0.7  $\text{mg}/\text{cm}^2$  时, GDL+CL 的原始厚度差在 40~130  $\mu\text{m}$  时, 电池将体现良好性能。图 6f 为载 Pt 量为 0.7  $\text{mg}/\text{cm}^2$  的重复聚四氟乙烯膜厚度为 162.5  $\mu\text{m}$  并改变一种聚酰亚胺薄膜厚度后得到的极化曲线, 聚酰亚胺薄膜厚度为 25  $\mu\text{m}$  时电池性能最佳, 也验证了这种厚度差的结论。

通过改变密封垫圈厚度, 再得到变化扭矩下的极化曲线只能看到表面性能变化, 如果能知道在扭矩改变时对应 GDL 孔隙度和 CL 孔隙率变化等情况, 将对进一步了解燃料电池构造和降低面电阻有较大帮助。

$$R_A = \frac{U_1 - U_0}{I_1 - I_0} \quad (4)$$

式中,  $R_A$  ——面电阻,  $\Omega/\text{cm}^2$ ;  $U_1$ 、 $U_0$  ——燃料电池欧姆极化区结束和开始时的电压, V;  $I_1$ 、 $I_0$  ——欧姆极化区结束和开始时的电流密度,  $\text{A}/\text{cm}^2$ 。

然而, 将 4 种密封垫圈对应扭矩变化时对应电压变化曲线 (200  $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) 对比时 (结合图 3 和图 6e), 可看到图 6a~图 6c 扭矩在 5~6  $\text{N}\cdot\text{m}$  时发生重合。说明若条件允许, 即使密封垫圈较厚, 增加扭矩也

能找到合适夹紧力来优化电池性能。由图 6a 可知,随着扭矩的增大,电池的面电阻不断减小(见表 2),从电池输出特性考虑,面电阻的改善是电池性能提高的主要因素。而当密封垫圈厚度减小到如图 6b 和图 6c 所示情况时,面电阻在扭矩变大时基本保持在  $0.65 \Omega/\text{cm}^2$ ,说明此时面电阻将不再因为扭矩的变化而变化。而当密封垫圈厚度减小时,扭矩的变化,不仅不会改善面电阻,相反,扭矩的增大还将影响电池性能,图 6d 随着扭矩的增大面电阻从  $0.65 \Omega/\text{cm}^2$  增加到  $0.82 \Omega/\text{cm}^2$  就是一个事实。

表 2 扭矩改变对面电阻的影响  
Table 2 Effect of torque change on ASR

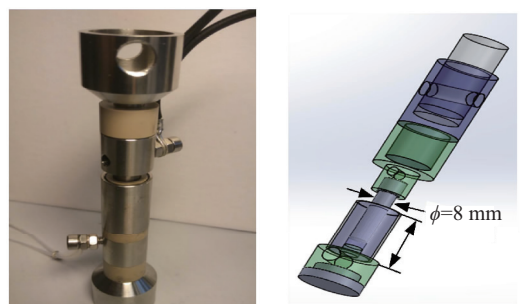
扭矩/ $\text{N}\cdot\text{m}$	面电阻/ $\Omega\cdot\text{cm}^{-2}$	扭矩/ $\text{N}\cdot\text{m}$	面电阻/ $\Omega\cdot\text{cm}^{-2}$
0.3	1.750	3.0	0.830
0.6	1.430	3.5	0.780
0.9	1.200	4.0	0.680
1.2	1.080	4.5	0.660
1.5	1.010	5.0	0.635
2.0	0.975	6.0	0.630
2.5	0.885	8.0	0.605

注:  $H_{\text{Teflon}}=214.2\mu\text{m}$ ,  $H_{\text{Kapton}}=25\mu\text{m}$ 。

然而,目前商用燃料电池的面电阻基本控制在  $0.2 \Omega/\text{cm}^2$ <sup>[12]</sup>,所以本次设计的电池性能还有优化空间,不仅仅是通过优化扭矩,而要更多地从 MEA 内部构造来思考,如:GDL、CL、PBI 膜等。除去 PBI 膜等的因素,在本实验中 GDL、CL 的孔隙率等的变化和扭矩直接相关,如果能够将扭矩转化为 GDL、CL 装配电池后受到压力的大小,然后通过弹性力学模型分析 GDL、CL 的厚度变化情况,进而反推孔隙率等的变化,将对分析和优化整个 MEA 意义重大。

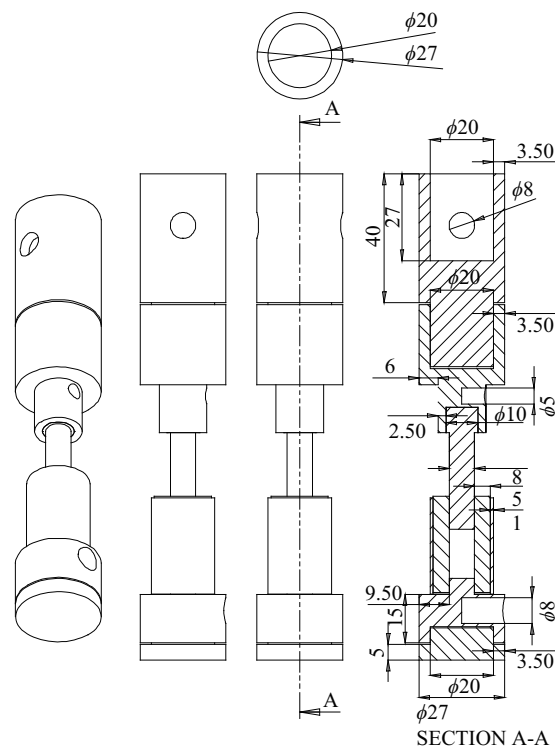
基于上述考虑,笔者自行设计如图 7 所示的不锈钢压力装置(图 7a~图 7c 分别为压力装置照片图、三维结构示意图和二维加工示意图)<sup>[13]</sup>在拉伸测试仪(Micro 350)上对聚四氟乙烯膜、碳纸、载 Pt 量为  $0.7 \text{ mg}/\text{cm}^2$  (60%商用 Pt/C) 电极、MEA、碳黑(vxc-72R)和 20%Pt/C 催化剂粉末等进行压力测试,以便于对力学模型的可行性进行验证。其中,粉末放在套筒进行测试,进而得到各样品厚度或者单位质量体积随压力的变化情况,如图 8 所示(对照图 3)。图 8a 为单层碳纸的厚度随压力变化的曲线;图 8b

分别为 2 层  $162.5 \mu\text{m}$  厚聚四氟乙烯膜依次在中间叠加 PBI 膜和 2 层  $25 \mu\text{m}$  厚聚酰亚胺薄膜的厚度随压力变化的曲线;图 8c 分别为载 Pt 量为  $0.7 \text{ mg}/\text{cm}^2$  的双层电极和增加 PBI 膜的双层电极的厚度随压力变化的曲线;图 8d 分别为碳黑和 20%Pt/C 粉末单位质量厚度随压力变化的曲线。



a. 压力装置实物照片

b. 压力装置三维实体图



c. 压力装置设计参数示意图(mm)

图 7 压力装置

Fig. 7 Apparatus of the pressure

由图 8 可知,各样品厚度或者体积在小压力时就出现明显变化,这是因为催化层、PBI 膜等比较松软。当装置压力增加到约  $2.5 \text{ N}$  (压强约为  $50 \text{ kPa}$ ) 时样品的变化趋于线性变化。因此,样品的变化将遵循胡可定律,这为密封垫圈-MEA 装配力学模型提供证明,如图 9 所示<sup>[7]</sup>。

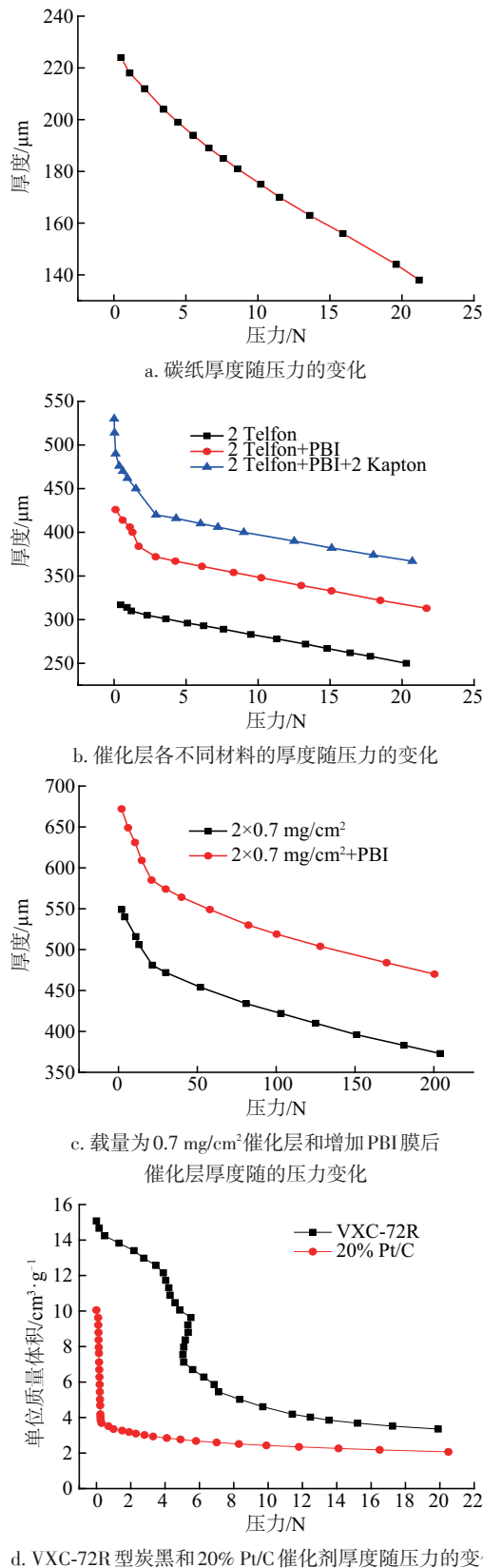


图 8 各样品厚度或者单位质量体积随压力的变化曲线图

Fig. 8 The thickness of each sample or the volume of unit mass changed with pressure

2 个平行弹簧有不同的弹性系数(如图 9b 所示密封垫圈的弹性系数  $k_g$  和 GDL 的弹性系数  $k_{\text{GDL}}$ )。它们等效为一个弹簧(如图 9c)和一个弹性系数  $k_{\text{eq}} = k_g + k_{\text{GDL}}$ 。在这种情况下总的夹紧力  $F_{\text{tot}}$  可等效为密封垫圈和 GDL 所受夹紧力之和( $F_{\text{tot}} = F_g + F_{\text{GDL}}$ );而且这也取决于不同材料的弹性系数( $F_g$  和  $F_{\text{GDL}}$ )。同时,密封垫圈刚度  $S_g$  和 GDL 刚度  $S_{\text{GDL}}$  间的差异较大而导致变形的较大差异。考虑到密封垫圈的刚度在 2 种模型下均高于 GDL, 即  $S_g > S_{\text{GDL}}$  时电池性能提高, 是因为密封垫圈的保护使 GDL 不至过度压缩, 而不至于面电阻增加(如图 6d 的实验分析)。

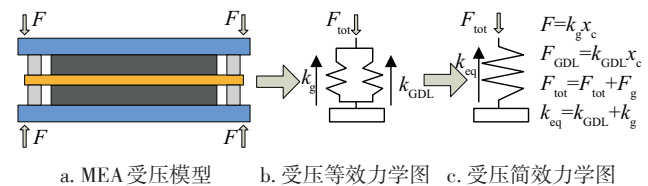


图 9 密封垫圈-MEA 装配力学模型

Fig. 9 Mechanical similitude of gasket-MEA-clamping plate system

### 3 结 论

首先,通过优化全新设计的有效面积为  $1 \text{ cm}^2$  HTPeM 单电池的各技术参数,得到  $600 \text{ mA/cm}^2$  电流密度下,  $\lambda_1 \approx 16$ 、 $\lambda_2 \approx 22$  最优气流量和  $160^\circ\text{C}$  温度条件后;再进行电池扭矩实验,使 HTPeM 性能得到优化,并得出载 Pt 量为  $0.7 \text{ mg/cm}^2$  时, GDL+CL 与密封垫圈的原始厚度差在  $40 \sim 130 \mu\text{m}$  为电池最佳装配范围;而且,当选择合适密封垫圈时,装配小扭矩时电池仍可达到最佳性能(如图 6b 和图 6c),这将延长单电池整体机械寿命。最后,通过设计压力装置测试单电池内部各部分样品、材料不仅验证了装配电池力学模型的可行性,还可明晰不同密封垫圈在装配时影响电池性能的内在因素。但是,目前如何通过力学模型验证并通过扭矩精确控制 GDL、CL 的变化量进而进一步优化电池性能尚需进一步研究。总之,未来在扭矩装配上优化电池性能,需要在建立精确的力学模型或者在仿真分析上做出突破。

#### [参考文献]

[1] Li Qingfeng, Jensen J O, Savinell R F, et al. High

- temperature proton exchange membranes based on polybenzimidazoles for fuel cells [J]. *Progress in Polymer Science*, 2009, 34(5): 449—477.
- [2] Aili D, Cleemann L N, Li Qingfeng, et al. Thermal curing of PBI membranes for high temperature PEM fuel cells [J]. *Journal of Materials Chemistry*, 2012, 22 (12): 5444—5453.
- [3] Yim Sung-Dae, Kim Byung-Ju, Sohn Young-Jun, et al. The influence of stack clamping pressure on the performance of PEM fuel cell stack [J]. *Current Applied Physics*, 2010, 10(2): S59—S61.
- [4] Waller M G, Walluk M R, Trabold T A. Performance of high temperature PEM fuel cell materials (Part 1): Effects of temperature, pressure and anode dilution [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41 (4): 2944—2954.
- [5] Wang Xinting, Song Ying, Zhang Bi. Experimental study on clamping pressure distribution in PEM fuel cells [J]. *Journal Power Sources*, 2008, 179(1): 305—309.
- [6] Selamet O F, Ergoktas M S. Effects of bolt torque and contact resistance on the performance of the polymer electrolyte membrane electrolyzers [J]. *Journal Power Sources*, 2015, 281: 103—113.
- [7] Gatto I, Urbani F, Giacompo G, et al. Influence of the bolt torque on PEFC performance with different gasket materials [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2011, 36(20): 13043—13050.
- [8] Li Q F, He R-H, Jensen J O, et al. PBI-Based polymer membranes for high temperature fuel cells - Preparation, characterization and fuel cell demonstration [J]. *Fuel Cells*, 2004, 4(3): 147—159.
- [9] Qiu Diankai, Yi Peiyun, Peng Linfa, et al. Channel dimensional error effect of stamped bipolar plates on the characteristics of gas diffusion layer contact pressure for proton exchange membrane fuel cell stacks [J]. *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, 2015, 12 (4): 041002.
- [10] Savinell R, Yeager E, Tryk D, et al. A polymer electrolyte for operation at temperatures up to 200 °C [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1994, 141 (4): L46—L48.
- [11] Larminie J, Dicks A. *Fuel cell systems explained* (2nd Ed.) [M]. England: Wiley, 2013.
- [12] Janssen G J M, Sitters E F. Performance of thin-film cathodes for proton-exchange-membrane fuel cells based on high-surface-area carbon supports [J]. *Journal Power Sources*, 2007, 171(1): 8—17.
- [13] Liu Chan-Chiung, Walters A B, Vannice M A. Measurement of electrical properties of a carbon black [J]. *Carbon*, 1995, 33(12): 1699—1708.

## INFLUENCE OF TORQUE ON PERFORMANCE OF HIGH TEMPERATURE FUEL CELL AND ITS OPTIMIZATION

Zhang Chuang<sup>1,3</sup>, Jiang Guozhang<sup>1</sup>, Wang Cheng<sup>2</sup>, Wang Yun<sup>3</sup>, Jia Zhiyong<sup>3</sup>, Chen Yunxing<sup>3</sup>

(1. *School of Machinery and Automation, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430080, China*;

2. *Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China*;

3. *School of Automotive and Traffic Engineering, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441000, China*)

**Abstract:** Firstly, new designed high temperature polymer electrolyte membrane fuel cell (HTPEM) with 1 cm<sup>2</sup> active area is introduced, and the experimental condition such as the optimum gas flow rate and the appropriate temperature are obtained. Then combining the cross-cutting schematic diagram of the original thickness for each component of the MEA, the cell assembly torque with different thickness sealing gaskets is systematically studied, which not only provides a reference for improving cell performance, but also obtains the optimal gasket thickness and torque fit range. Finally, by designing a pressure device, the thickness and volume of various components or materials of the membrane electrode assembly (MEA) are tested as pressure changes, and the feasibility of establishing the mechanical model is verified. The reason why the torque affects the HTPEM performance is explained from the inside of the cell.

**Keywords:** fuel cells; torque; gaskets; membrane electrode assembly (MEA)