

质子交换膜电解槽钛毡扩散层表面微孔层结构对电解水特性的影响

高建平^{1,2}, 王锡奎^{1,2}, 王 星¹, 聂志宇³, 吕源江², 马 飞²

(1. 西部金属材料股份有限公司, 陕西 西安 710201)

(2. 西安交通大学 金属材料强度国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

(3. 西安菲尔特过滤材料股份有限公司, 陕西 西安 710201)

摘要: 为研究微孔结构扩散层对钛毡表面接触及传输的影响, 分别在0.25、0.4和0.6 mm厚的钛毡表层通过钛粉填充再真空烧结方法制备了微孔结构扩散层。采用激光共聚焦显微镜、压汞仪、电解池在线测试等分析表征了表面接触面积及电阻、孔径分布、伏安曲线等特性。结果表明, 0.25、0.4和0.6 mm厚微孔钛毡扩散层的有效接触面积相较原始钛毡的3.1%分别提高到11.2%、22.8%、4.8%, 在1.5 MPa接触压力下的接触电阻分别降低至7.07、5.26、7.86 mΩ·cm², 微孔层通过优化表面孔隙结构进而降低接触电阻; 扩散层孔径分布特征由双峰结构演变为三峰结构, 新增的6~32 μm小孔通道有利于水传输, 中孔及大孔通道有利于氧气泡传输; 在2 A/cm²电流密度下, 0.4 mm厚微孔扩散层过电位降幅最大为45 mV, 同时接触电阻最低、孔径分布均衡、电解水效率最高。

关键词: 质子交换膜电解槽; 扩散层; 微孔层; 粉末烧结; 表面及孔结构

中图法分类号: TB383

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2025)10-2533-08

1 引言

氢能是一种来源丰富、绿色低碳、应用潜力大的二次能源, 正逐步成为全球能源转型发展的重要载体之一^[1]。质子交换膜电解水制氢因其电解效率高、耐功率波动且制氢纯度高等特点成为利用可再生能源制绿氢最理想的方法之一, 受到国内外研究者的广泛关注^[2-3]。质子交换膜电解槽(proton exchange membrane electrolyzer cell, PEM电解槽)由膜电极、双极板、扩散层、密封件以及端板等部件构成, 其中扩散层, 也叫多孔传输层(porous transport layer, PTL)介于膜电极和双极板之间, 提供多孔通道, 将双极板流场中的水传输到膜电极催化层, 将催化层产生的氧气排出到双极板, 还具有优异的电/热传导性, 促进阳极催化层产生的电子快速导出, 是影响PEM电解槽性能的关键部件之一^[4-6]。目前满足上述使用要求的扩散层材料为金属多孔材料, 包括钛纤维毡、钛烧结板和钛网等^[7]。张萍俊等人^[8]研究了钛毡、烧结钛板和碳纸3种材料作阳极气体扩散层对电解水性能的影响, 发现钛毡电解性能优于钛烧结板, 而碳纸稳定性最差, 这是因为钛毡的孔隙率和孔径大, 有利于高电流密度区

的气液传输。Weber等人^[9]研究了钛毡扩散层厚度对PEM电解槽性能的影响, 钛毡扩散层孔径尺寸保持在28~32 μm, 随着厚度从2 mm降低到0.5 mm, 缩短了气液传输的距离, 电解池的过电位降低120 mV。然而, 当厚度从0.25 mm继续降低到0.16 mm, 电池性能反而衰减, 这是因为极薄的扩散层孔隙结构简单, 造成局部缺水不利于催化分解水。Ito等人^[10]研究了不同孔隙率和孔径的钛纤维毡对扩散层传输性能的影响, 发现平均孔径大于10 μm时, 水电解性能随着孔径的减小而增大, 孔隙率超过50%后对水电解性能没有明显影响。Grigoriev等人^[11]研究了钛粉粒径对烧结钛板扩散层性能的影响, 发现直径为50~70 μm的球形钛粉烧结的扩散层的孔隙尺寸为12~13 μm, 毛细阻力较小, 有利于气泡传输。西北有色金属研究院Xu等人^[12]研究了粉末烧结钛板扩散层的孔径、孔隙率、厚度等结构特性发现随着孔径和孔隙率的增大, 有利于气液传输, 但不可避免的减小了扩散层与膜电极催化层之间的接触面积, 导致接触电阻增大, 增加电解池能耗。由此可知, 扩散层的气液传输性能和表面接触面积之间存在互斥关系, 如何协同提高传输特性和接触特性是扩散层设计优化的关键。Hwang等人^[13]将PTFE粘

收稿日期: 2024-10-19

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFB4002102)

作者简介: 高建平, 男, 1991年生, 博士, 西部金属材料股份有限公司, 陕西 西安 710201, E-mail: gjp_nwpu@163.com

结剂与 Ti 粉混合涂覆在钛毡表面并烧结制备出微孔结构扩散层(microporous layer, MPL),但因钛粉负载量有限未形成完整的微孔层,孔隙特性和接触特性改善不明显,而且 PTFE 粘结剂导电性能差,电解水性能基本没有提升。因此,设计制备兼具钛毡和钛粉烧结板结构优势的扩散层是协同提升传输特性、接触特性和导电特性的重要路径。

本实验将钛粉末与钛纤维毡进行真空烧结,探究在不同厚度钛毡基层上钛粉微孔层烧结后的表面接触特性、多孔传输和电解水特性,研究扩散层结构对导电性和传输特性的影响,为扩散层设计制备提供指导。

2 实验

实验材料为钛纤维毡,厚度分别是 0.25、0.4 和 0.6 mm(西安菲尔特金属过滤材料股份有限公司),钛粉的粒径分布为 20~100 μm。将 3 种厚的钛纤维毡置于乙醇内超声清洗并烘干,随后将钛粉均匀涂覆在钛纤维毡表面,钛粉负载量为 150 g/m²,将涂覆钛粉的钛纤维毡置于真空烧结炉内,保持真空度 0.1 Pa 以下,烧结温度为 1000 °C,保温时间 1 h。

设计并制备了 PEM 电解池,对扩散层性能进行原位测试,PEM 电解池双极板为镀铂钛板,膜电极(氢辉能源(深圳)有限公司)的有效面积为 80 cm²,其中质子交换膜为 Nafion117,阳极催化剂为载量 1.0 mg_{Ir}/cm² 的 IrO₂,阴极催化剂为载量为 0.35 mg_{Pt}/cm² 的 Pt/C。阴极扩散层为镀铂钛毡扩散层,本实验制备的不同厚度微孔钛毡做阳极扩散层,进行性能测试。在自制测试平台进行极化曲线测试,阳极通入超纯水(电导率为 1 μS/cm),电解池温度为 80 °C,水流速度为 0.2 L/min。使用可编程直流电源进行测试并记录电流和电压值。

利用场发射扫描电子显微镜(JSM6700F)观察不同厚度微孔结构钛毡的表面形貌;用激光共聚焦显微镜(德国-蔡司 LSM799 MAT)观察钛毡表层多孔结构,分析扩散层的表面接触面积和钛纤维轮廓深度分布;用压汞仪(MicroActive AutoPore V 9600 Version)表征扩散层的孔隙率、孔径分布以及渗透特性,测试用样品为 1 cm³ 的多层钛毡堆叠块体;参考国标 GB/T 20042.6-2011 进行测试接触电阻,待测试样置于上下两块镀金铜电极之间,逐渐施加压力,记录接触电阻的变化,试样尺寸为 50 mm×50 mm。

3 结果与讨论

3.1 形貌分析

图 1a 为钛纤维毡的 SEM 照片,由丝径为 20~35 μm 的钛纤维无纺而成的多孔材料。图 1b~1d 为在 0.25、0.4 和 0.6 mm 厚钛毡表面填充钛粉烧结制备的微孔层结构,钛粉末均匀填充到钛纤维毡表层的孔隙结构中构成微孔层。图 1e 显示钛粉颗粒之间、钛粉与钛纤维之间形成明

显的烧结颈^[14],微孔结构扩散层为冶金结合。图 1f 显示直径为 20~50 μm 的钛粉优先沉积到孔隙底部,直径为 80~100 μm 的钛粉沉积到钛毡表层附着在钛纤维上,微孔层与钛毡基层以过渡方式结合增强了结合力。

图 2 为钛毡微孔层表面形貌的激光共聚焦显微照片(图 2a~2d)及对应多孔骨架深度分布图(图 2e~2h)。图 2a 为原始钛毡的表面轮廓图,红黄色线条表示钛纤维,蓝色多边形表示孔隙结构,钛纤维随机分布,纵横交错形成多孔骨架,钛纤维堆叠围成多边形孔隙结构。需要指出的是,沿平面方向,表示钛纤维的线条由左上角至右下角颜色从黄色逐渐变成红色,这主要是因为钛毡厚度不均匀,表层钛纤维产生高度差而引起。图 2b 为 0.25 mm 厚钛毡微孔层的表面轮廓图,沿平面方向钛粉颗粒(红色斑点)集中分布于纤维交错密集的区域,钛纤维线条数量减少,整体分布趋于均匀。沿截面方向,深色孔隙减少,说明钛粉填充钛毡多边形孔隙结构,造成轮廓深度降低。钛纤维和钛粉颗粒同时出现在钛毡表层,表明钛粉未能完全填满孔隙,这是因为 0.25 mm 厚钛纤维毡的孔径较大,部分钛粉穿透钛毡而未附着。图 2c 为 0.4 mm 厚钛毡微孔层的表面轮廓图,钛粉颗粒数量增多且分布均匀,未见线条状钛纤维,扩散层表层的轮廓深度进一步降低。这主要归因于 0.4 mm 厚钛毡过滤精度更细,钛粉完全填平钛毡孔隙,多余钛粉附着于纤维表面构成连续微孔层。图 2d 为 0.6 mm 厚钛毡微孔层的表面轮廓图,钛粉颗粒集中在上半区域,钛纤维未被完全覆盖,集中在下半区域,可归因于钛毡孔隙体积过大,有限钛粉不足以均匀填满孔隙。膜电极与扩散层的有效接触面积可用扩散层钛骨架在膜电极上的投影面积表示。图 2e~2h 为钛骨架轮廓深度分布图,其中累计深度分布曲线(右侧轴)表示在一定深度下(本研究取 50 μm),钛骨架轮廓在平面上投影面积与表观面积的比例,该比例越大则有效接触面积越大。图 2e 显示原始钛毡累计深度分布比为 3.1%,即膜电极嵌入原始钛毡表层 50 μm 时,二者之间真实接触面积比为 3.1%。制备微孔层后,0.25、0.4 和 0.6 mm 厚微孔扩散层的累计深度分布比依次为 11.2%(图 2f)、22.8%(图 2g)和 4.8%(图 2h),较原始钛毡均提高,其中 0.4 mm 厚微孔扩散层有效接触面积增大近 7 倍。图 2h 显示 0.6 mm 厚微孔扩散层深度分布均匀,累计深度分布比提升较小,是由钛粉在钛毡表面分布不均匀导致。

扩散层与膜电极催化层接触面是电子传输的主要通道,接触面积增大可缩短电子传输路径,降低接触电阻、提高电解效率。扩散层与膜电极催化层之间的有效接触面积定义为膜电极嵌入扩散层深度为 d 时扩散层固相骨架与催化层之间的实际接触面积^[5]。有效接触面积随着

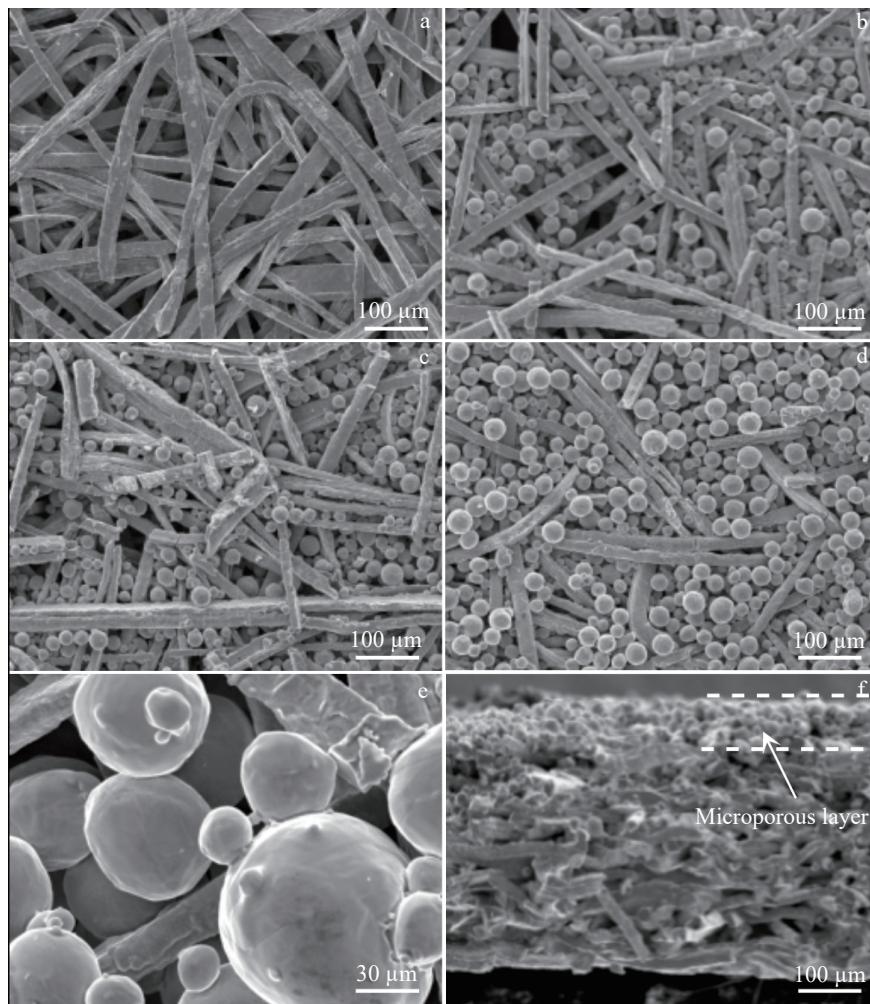


图1 不同厚度扩散层表面钛粉微孔层形貌

Fig.1 Surface morphologies of Ti powder PTLs of different thicknesses without (a) and with (b–d) MPL: (a, c) 0.4 mm, (b) 0.25 mm, and (d) 0.6 mm; morphology of MPL (e) and cross-section morphology of Ti powder PTL (f) with 0.6 mm in thickness with MPL

膜电极压入扩散层表面深度的增加而增加,随孔隙率的降低而增加。图3a为0.4 mm厚扩散层3D重构图及截面接触形貌示意图,沿平面方向表层钛纤维纵横交错,在截面方向上形成凹凸不平的孔隙,粗糙度为48.85 μm 。由截面方向示意图可知,膜电极(黄色曲线)受压嵌入扩散层表面孔隙结构,随着嵌入深度的增加,膜电极与钛纤维尖端接触,从而刺穿膜电极,因此膜电极变形量不宜超过90%^[5]。图3b为微孔扩散层(PTL+MPL)3D重构图及截面接触形貌示意图,钛粉颗粒填充钛毡表层孔隙结构后,线条状钛纤维围成的多边形孔隙被填充覆盖,表面粗糙度降低到26.81 μm 。截面示意图中球形颗粒嵌入钛纤维孔隙中并形成连续微孔层。膜电极嵌入相同深度时,微孔层均匀支撑膜电极,膜电极变形量减小,同时接触面积增大,避免膜电极破损。

3.2 接触电阻分析

图4为扩散层接触电阻的测试结果。接触电阻(SCR)由材料的本征电导率、接触面积以及接触压力共

同决定。本研究使用的钛毡本征电导率基本保持不变,随着接触压力的增大,接触电阻逐渐减小。在1.5 MPa下,不同厚度的钛毡扩散层接触电阻依次为15.63、12.79和11.25 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 。微孔层优化后的扩散层接触电阻依次为7.07、5.26和7.86 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$,均低于美国能源部(DOE)接触电阻性能指标($10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$)。其中0.4 mm厚微孔扩散层的接触电阻降幅最大达接近60%,而该扩散层的有效接触面积增大近7倍(图2g),表面粗糙度降低45%。表明微孔层优化了钛毡的表层结构,降低了表面粗糙度、增大了有效接触面积,为电子传导提供了更多导电位点进而降低了接触电阻。

3.3 孔结构分析

微孔结构优化前后钛毡扩散层的孔结构特征参数如图5所示。原始钛毡的孔隙率随着钛毡厚度的增加逐渐减小,制备微孔层后孔隙率进一步降低,依次为66.94%、71.46%和59.22%(图5a)。不同厚度的钛毡扩散层的平均孔径为40~55 μm ,制备微孔层后平均孔径均减小,表

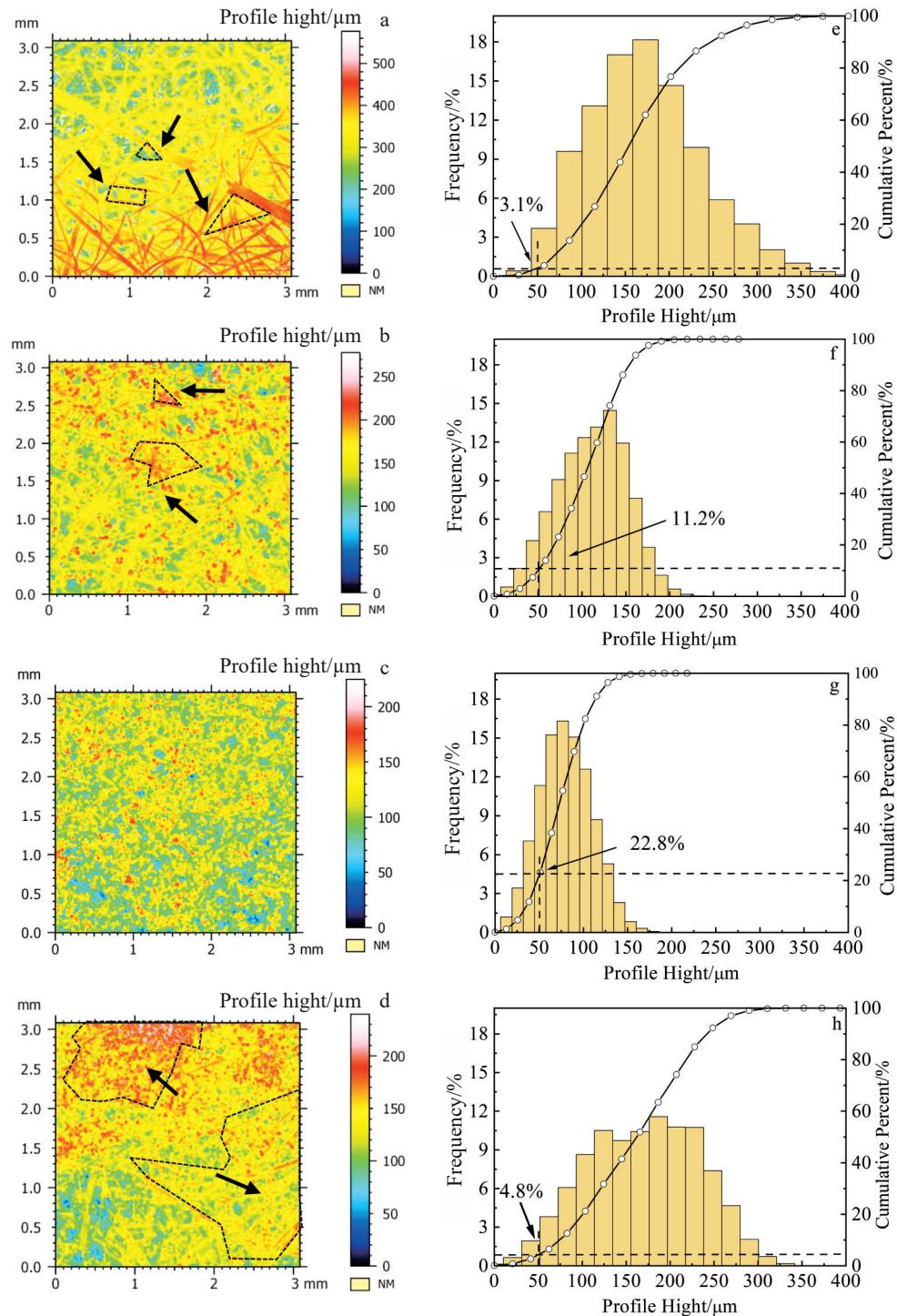


图2 不同厚度钛毡微孔层表面轮廓及分布图

Fig.2 Surface profiles (a–d) and height distributions (e–h) for Ti fiber TLs of different thicknesses without (a, e) and with (b–d, f–h) MPL: (a, e, c, g) 0.4 mm; (b, f) 0.25 mm; (d, h) 0.6 mm

明钛粉对不同厚度的钛毡表层孔隙结构具有明显的调控作用。

扩散层的孔径分布特征直接影响气液两相传输行为,阳极扩散层是反应物纯水和产物氧气的传输通道,气泡在扩散层的孔道结构中形成、合并、排出行为与扩散层

孔隙结构的毛细作用有关,即由扩散层孔径结构决定^[15]。通过压汞仪精确测量了多孔材料的孔结构特征,不同厚度扩散层的孔径分布如图6所示。钛毡扩散层的孔径分布曲线为一个主峰伴随一个卫星峰构成的“双峰结构”,峰形范围见表1。其中19~77 μm孔径范围内的峰称为中

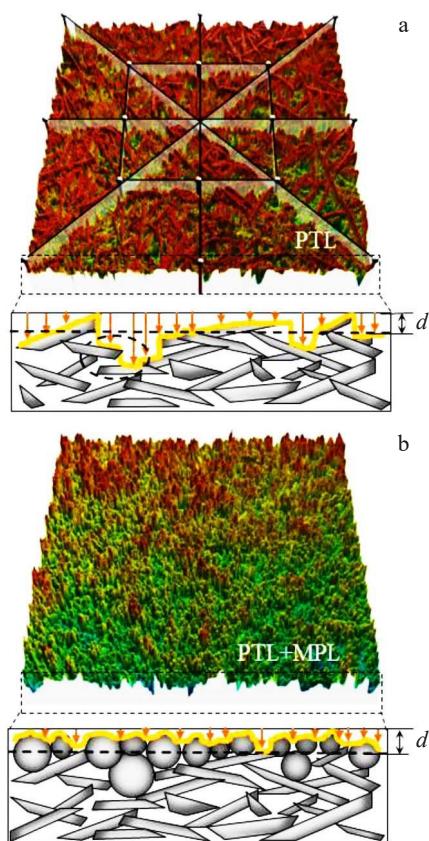


图3 扩散层3D重构图及接触面示意图

Fig.3 3D restructuring graphs and schematic descriptions of surface contact: (a) PTL and (b) PTL with MPL

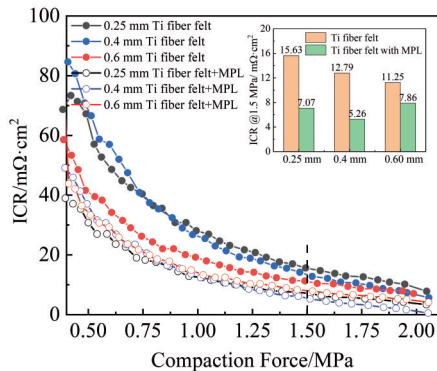


图4 制备微孔层前后不同厚度扩散层接触电阻随接触压力变化
(插图为1.5 MPa下接触电阻)

Fig.4 Interfacial contact resistance (ICR) of PTLs of different thicknesses without and with MPL (the ICR @1.5 MPa case is shown in the inset)

孔通道, 64~256 μm 孔径范围内的峰称为大孔通道。随着钛毡厚度的增加, 中孔峰值高度逐渐增强, 0.6 mm 厚钛毡的中孔峰值达到最高。制备微孔层后, 钛毡扩散层平均孔径减小(图5b), 中孔和大孔位置处的孔径分布强度较原始钛毡明显降低、分布范围变宽, 孔径尺寸更加均

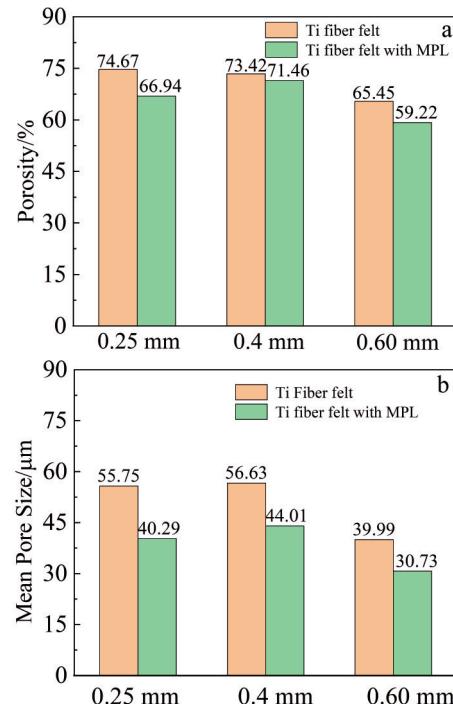


图5 压汞仪测量不同厚度扩散层孔结构参数
Fig.5 Pore structure parameters for PTLs of different thicknesses by mercury injection porosimeter: (a) porosity and (b) mean pore size

匀。值得注意的是, 在6~32 μm 孔径范围内, 曲线向上凸起, 与中孔和大孔共同构成了“三峰结构”, 与文献[16]制备微孔层后形成的3类孔结构一致。该孔径范围内的峰称为小孔通道, 峰形范围见表1。图6d对比了微孔扩散层的孔道分布, 其中0.25 mm厚微孔扩散层3种孔道中大孔占比最高, 0.4 mm厚微孔扩散层3种孔道中中孔最多, 0.6 mm厚微孔扩散层3种孔道比例接近。不同微孔扩散层中, 小孔通道比例相近, 这是由制备的微孔层的钛粉填充量相同、孔隙结构相似所致。微孔扩散层中的多尺度孔道结构, 为气液两相传输构建了必要传输通道, 提高PEM电解槽效率。

3.4 传输性能分析

多孔介质中物质传输限制步由最小直径的孔隙控制, 扩散层中的气泡内压力由外部压力和毛细压力决定。根据Laplace方程(1)可知, 水在多孔介质中受到的毛细压力为^[11]:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R} \quad (1)$$

其中, σ 为水与钛基材的表面张力(润湿角为25°~30°), R 为孔隙曲率半径。

减小孔隙半径可以增大毛细力, 有利于水传输进入膜电极催化层。然而, 持续减小孔径尺寸同时也会造成气泡内压力增大, 不利于气体传输, 因此优化扩散层孔径分布是协同增强气液传输的关键。图7为汞液在扩

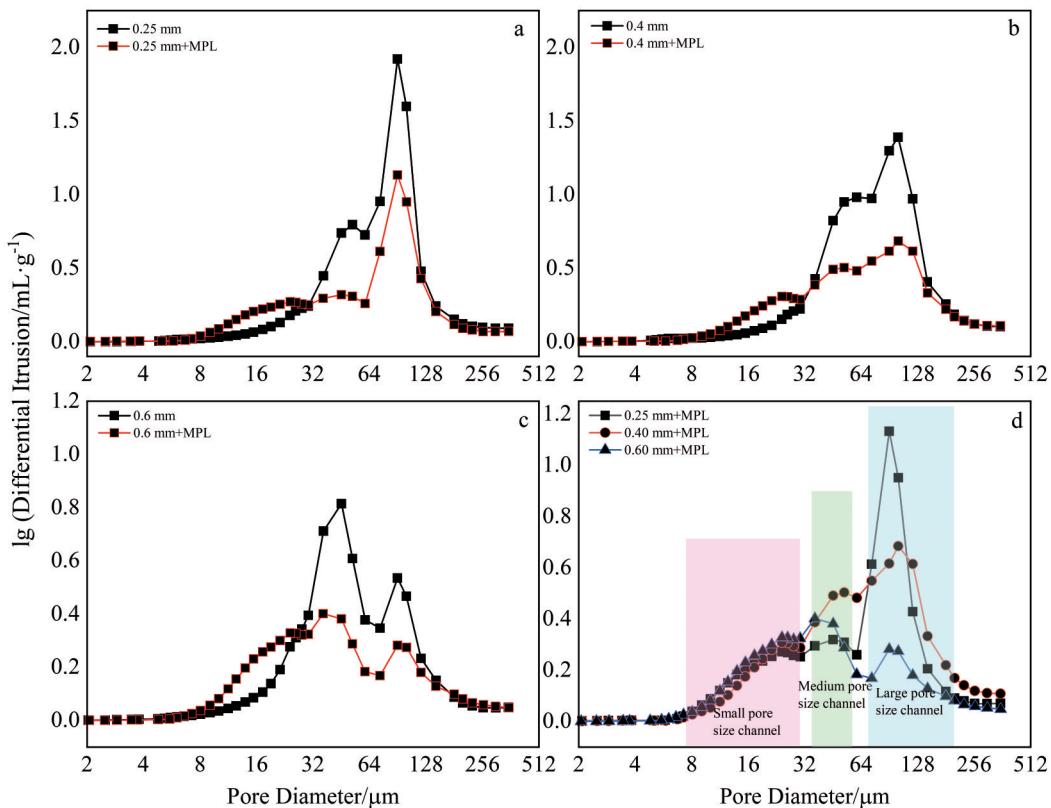


图 6 不同厚度扩散层的孔径分布

Fig.6 Pore size distribution for PTLs of different thicknesses without and with MPL by mercury injection porosimeter: (a) 0.25 mm, (b) 0.4 mm, and (c) 0.6 mm; comparsion among different PTLs with MPL (d)

表1 不同厚度扩散层及微孔扩散层孔径分布

Table 1 Pore size distribution for PTLs of different thickness without and with MPL

PTLs	PTL peak range/ μm		PTL+MPL peak range/ μm		
	Medium pore	Large pore	Small pore	Medium pore	Large pore
0.25 mm	28~64	64~256	6~32	32~64	64~56
0.4 mm	32~77	77~256	6~32	32~64	64~256
0.6 mm	19~76	76~256	6~29	29~77	77~256

散层中传输的饱和度曲线。传输介质汞液与钛基材润湿角 $>90^\circ$, 汞液需要克服毛细压力才能进入扩散层的孔隙中, 而电解槽中的液相水需要克服氧气泡的压力才能传输到催化层, 二者传输行为一致。扩散层中不同孔径的孔道液相饱和度呈现中间高两端低, 近似为正态分布。如图 7a 所示, 在 115~256 μm 大孔通道内, 微孔扩散层的液相饱和度高于钛毡扩散层; 在 32~115 μm 中孔通道内, 微孔扩散层的液相饱和度低于钛毡扩散层, 保留了气相传输通道; 在 6~32 μm 小孔通道内, 微孔扩散层的液相饱和度高于钛毡扩散层。图 7b 为气液两相传输

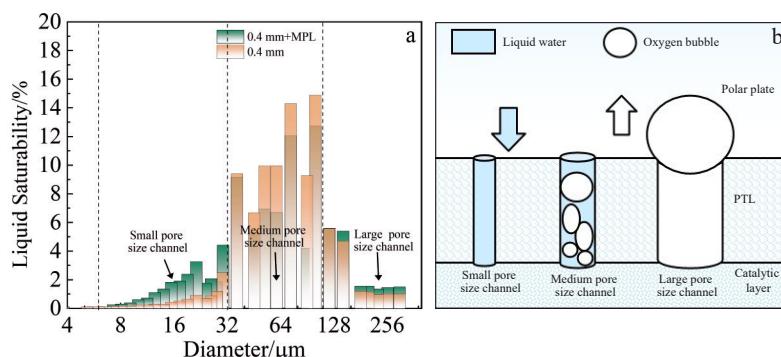


图 7 扩散层的传输特性

Fig.7 Transmission characteristics of PTL: (a) liquid saturability and (b) schematic description of mass transfer

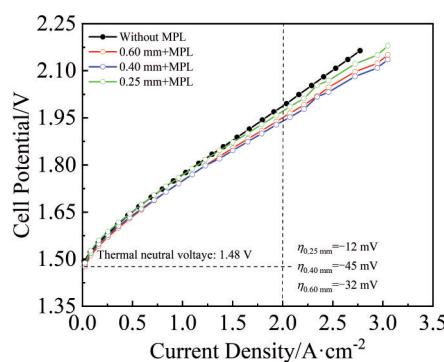


图8 不同扩散层的电解水极化曲线

Fig.8 Polarization curves of different thicknesses PTLs without and with MPL

示意图,不同孔隙结构对液态水和氧气泡传输具有选择性。在微孔扩散层的“三峰结构”中,通过微孔层优化出的6~32 μm小孔通道具有较大的毛细力,为液相水传输提供了通道;中孔通道中气液两相协同传输,气相以气泡形式从催化层穿过扩散层到达双极板,液态水正好相反;大孔通道往往被气泡占据,成为气相传输通道,多尺度的孔径分布为气相和液相传输构筑了专用通道,促进气液两相协同传输。

3.5 电解性能分析

将不同厚度微孔扩散层装配在自制PEM电解池阳极侧,进行电解水性能测试,结果如图8所示。随着电流密度的增加,电解电压逐渐增大,不同厚度的微孔扩散层的电解电压均低于原始钛毡扩散层。2 A/cm²的额定电流密度下,原始钛毡扩散层的电解电压为1.985 V,0.25、0.4和0.6 mm厚微孔扩散层的过电位分别降低12、45和32 mV。其中0.4 mm微孔扩散层的过电位降幅最大,相较于热中性电压1.48 V,其电压效率从74.6%提高到76.3%,降低了电解水过程的能耗。过电位的降低是因为制备微孔层后,扩散层与膜电极之间的接触电阻降低,欧姆损失减小,构建的“三峰结构”孔径通道增强了气液两相传输,降低了浓差损失,进而提高了电解效率^[17~18]。

4 结论

1) 钛毡扩散层表层进行钛粉填充并真空烧结形成微孔层,钛粉与钛毡纤维之间为冶金结合,提高结合力。

2) 0.25、0.4和0.6 mm厚微孔结构钛毡扩散层的有效接触面积相较原始钛毡的3.1%依次提高到11.2%、22.8%和4.8%,在1.5 MPa接触压力下的接触电阻分别降低至7.07、5.26和7.86 mΩ·cm²,其中0.4 mm扩散层的

接触面积最大、接触电阻最小。

3) 制备微孔层后钛毡扩散层的孔径分布特征由“双峰结构”演变为“三峰结构”,新增的6~32 μm小孔径通道由微孔层贡献,具有较大的毛细力,为液体水传输提供了通道;中孔径通道和大孔径通道有利于氧气泡传输,微孔扩散层的多尺度通道有利于气液协同传输。

参考文献 References

- Zhao Y S, Zhang M, Guo Y Y et al. Rare Metal Materials and Engineering[J], 2021, 50(6): 1999
- Shiva K S, Himabindu V. Materials Science for Energy Technologies[J], 2019, 2(3): 442
- Wang H S, Li W J, Liu T et al. Energy Conversion and Management[J], 2019, 183: 97
- Doan T L, Lee H E, Kim M et al. Journal of Power Sources[J], 2023, 533: 231370
- Schuler T, De B R, Schmidt T J et al. Journal of the Electrochemical Society[J], 2019, 166(4): F270
- Schuler T, Schmidt J T, Buchi N F. Journal of the Electrochemical Society[J], 2019, 166(10): F555
- Doan T L, Lee H E, Shah S S H et al. International Journal of Energy Research[J], 2021, 45(10): 14207
- Zhang Pingjun(张萍俊), Sun Shucheng(孙树成), Yu Hongmei(俞红梅) et al. Renewable Energy Resources(可再生能源)[J], 2019, 37(10): 1429
- Weber C C, Schuler T, Bruycker D R et al. Journal of Power Sources Advances[J], 2022, 15: 100095
- Ito H, Maeda T, Nakano A et al. International Journal of Hydrogen Energy[J], 2012, 37(9): 7418
- Grigoriev S A, Millet P, Volobuev S A et al. International Journal of Hydrogen Energy[J], 2009, 34(11): 4968
- Xu C Y, Wang J, Wang J Z et al. Applied Energy[J], 2024, 357: 122541
- Hwang M C, Ishida M, Ito H et al. Journal of Power Sources[J], 2012, 202: 108
- Wang Jianzhong(王建忠), Ao Qingbo(敖庆波), Jing Peng(荆鹏) et al. Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料与工程)[J], 2022, 51(5): 1907
- Mo J K, Kang Z Y, Retterer T S et al. Science Advances[J], 2016, 2(11): e1600690
- Wang X L, Zhang H M, Zhang J L et al. Journal of Power Sources[J], 2006, 162(1): 474
- Lee J K, Schuler T, Bender G et al. Applied Energy[J], 2023, 336: 120853
- Lettenmeier P, Kolb S, Burggraf F et al. Journal of Power Sources[J], 2016, 311: 153

Effect of Microporous Layer on Water Electrolysis for Proton Exchange Membrane Electrolyzers

Gao Jianping^{1,2}, Wang Xikui^{1,2}, Wang Xing¹, Nie Zhiyu³, Lv Yuanjiang², Ma Fei²

(1. Western Metal Materials Co., Ltd, Xi'an 710201, China)

(2. State Key Laboratory for Mechanical Behavior of Materials, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

(3. Xi'an Fiber Metal Materials Co., Ltd, Xi'an 710201, China)

Abstract: To study the influence of microporous layer (MPL) on the surface contact and transmission characteristics of titanium felt porous transport layer (PTL), the MPL was prepared by vacuum sintering after the surface of titanium felts with 0.25 mm, 0.4 mm and 0.6 mm in thickness were filled with titanium powder. The surface contact area/resistance, pore size distribution and polarization curve of electrolytic water measured by laser scanning confocal microscope, mercury porosimetry and electrolysis cell, respectively. The results show that the effective contact area of the PTLs with MPL increase from 3.1% to 11.2%, 22.8% and 4.8% compared with that of titanium fiber felt. In addition, the contact resistances decrease to 7.07, 5.26 and 7.86 mΩ·cm² at the contact pressure of 1.5 MPa. The pore size distribution changes from the bimodal structure of PTL to the trimodal structure of PTL with MPL. The addition of a small pore size channel of 6–32 μm is conducive to liquid water transmissions; meanwhile, medium & large pore size channels are beneficial to gas phase transmission. The overpotential of the different thickness PTLs with MPL decrease by 12 mV, 45 mV and 32 mV at current density of 2 A/cm². In this case, the contact resistance is the lowest, the pore size distribution is uniform, and the electrolysis efficiency of porous transport layer with 0.4 mm in thickness is the highest.

Key words: proton exchange membrane electrolysis cell; porous transport layer; microporous layer; powder sintering; surface and pore structure

Corresponding author: Ma Fei, Ph. D., Professor, State Key Laboratory for Mechanical Behavior of Materials, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, P. R. China, E-mail: mafei@mail.xjtu.edu.cn