

氟化中间相沥青改性碳纸的研究



作者简介：李梦佳女士，在读硕士研究生；主要从事新型碳材料等方面的研究。

李梦佳¹ 马闻骏¹ 华飞果² 许跃³ 李琪琪¹ 马昌¹ 童树华² 史景利^{1,*}

(1. 天津工业大学材料科学与工程学院, 天津, 300387; 2. 浙江金昌特种纸股份有限公司, 浙江衢州, 324400; 3. 中国制浆造纸研究院有限公司, 北京, 100102)

摘要：以氟化中间相沥青为疏水试剂，分别采取浸渍法和气相沉积法对碳纸进行疏水改性，考察了氟化中间相沥青负载工艺及负载量对碳纸微观形貌、厚度、表观密度、导电性和疏水性能的影响。结果表明，采取浸渍法改性比气相沉积法改性获得的碳纸疏水性能更优，相应的性质参数也有所变化。随着氟化中间相沥青负载量的增加，碳纸的厚度增加，表观密度减小，电阻率增加，接触角增加。当氟化中间相沥青负载量为10 wt%时，浸渍法改性获得的碳纸电阻率为 $5.6 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ ，接触角为 139° ，满足燃料电池中气体扩散层的使用要求。

关键词：碳纸；疏水改性；氟化沥青

中图分类号：TS758 文献标识码：A DOI: 10.11980/j.issn.0254-508X.2021.05.007

Study on Carbon Paper Modifying with Fluorinated Mesophase Pitch

LI Mengjia¹ MA Wenjun¹ HUA Feiguo² XU Yue³ LI Qiqi¹ MA Chang¹ TONG Shuhua² SHI Jingli^{1,*}

(1. School of Materials Science and Engineering, Tiangong University, Tianjin, 300387; 2. Zhejiang Jinchang Special Paper Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang Province, 324400; 3. China National Pulp and Paper Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100102)

(*E-mail: shijingli1963@163.com)

Abstract: Using fluorinated mesophase pitch as additive, the carbon paper was hydrophobically modified by impregnation on vapor deposition process. The effects of two fluorinated mesophase pitch loading processes and loading amount on the microscopic morphology, thickness, apparent density, electrical conductivity and hydrophobic properties of carbon paper were investigated. The results showed that the modified carbon paper by impregnation had better hydrophobic properties than that by vapor deposition, and the corresponding property parameters were also changed. As the loading of fluorinated mesophase pitch increased, the thickness of the carbon paper increased, the apparent density decreased, the resistivity increased, and the contact angle increased. When the loading of fluorinated mesophase pitch was 10 wt%, the resistivity of the carbon paper obtained by impregnation was $5.6 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$, with contact angle of 139° , which met the requirements of the gas diffusion layer in fuel cells.

Key words: carbon paper; hydrophobic modification; fluorinated pitch

质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 作为一种新型的清洁能源，由于其功率密度高、工作温度低和环境友好等优势，近几年逐渐受到了广泛的关注^[1]。其中，气体扩散层 (GDL) 是质子交换膜燃料电池中关键的元件之一，需要高的导电性来提供电子通道以及降低欧姆损耗，需要有合理的孔隙结构和表面结构来控制水和气体运输，还需要具有合适的机械性能来支撑催化剂层和稳定电极。由于 PEMFC 在工作时会产生液态水，进而在电池的运行过程中对催化剂层和 GDL 传输通道造成堵塞，形成极限电流现象，即“水淹”现象^[2]。且液态水以毛细管压为动力填充到气体扩散层孔隙的同时，气态水也会以扩散的形式

进入到孔隙中。因此，在满足高机械性能以支撑催化剂层和稳定电极的同时，设计合理的表面和孔隙结构，提升优良的疏水性，为液态水和气态水的运输提供良好的环境，是目前 GDL 发展的趋势。

GDL 主要由基底材料和沉积在基底材料的微孔层 (MPL) 两部分组成。基底材料一般为碳纸^[3-4]、碳布、无纺布或炭黑纸，MPL 主要为碳纳米颗粒和疏水试剂^[5]。其中，聚四氟乙烯乳液 (PTFE) 由于表面

收稿日期：2020-12-30 (修改稿)

基金项目：国家重点研发计划项目 (编号：2017YFB0308200)。

*通信作者：史景利，博士，研究员，博士生导师；主要从事新型碳材料等方面的研究。

能低、化学稳定性高、耐高低温性和耐腐蚀性，被作为常用的疏水试剂对GDL的基底材料进行疏水处理。由于PTFE不具备导电性，PTFE的引入在改善疏水性的同时，是以牺牲基底材料的导电性为代价的，其引入量越高，GDL的导电性越差。Bever D等人^[6]探究了PTFE添加量对MPL性能的影响，结果表明PTFE的含量与MPL导电性和扩散特性均呈负相关。PTFE的最优含量对电池性能和MPL孔隙率的影响规律成为研究者们关心的热点。其中，汪圣龙等人^[7]认为PTFE含量为15 wt%时电池性能最优。谢屹等人^[8]通过理论模型分析得出PTFE含量在10 wt%时电池性能最好。Giorgi等人^[9]考察了PTFE含量对GDL孔隙率的影响，结果表明PTFE添加量和孔隙率呈负相关，当添加量为20 wt%时GDL整体性能最好。Truong等人^[10]通过控制GDL基底材料内的PTFE添加量，得出当PTFE负载量为30 wt%，即MPL中的PTFE添加量为30 wt%时，GDL的接触角高达146.2°接近超疏水性能，研究证明PTFE的引入不仅有利于水分的疏导，而且可以为MPL涂层提供强有力的支撑。

为进一步提高燃料电池的性能，研究者不断寻找新的疏水试剂来代替PTFE用于GDL。其中，Latorrata等人^[11]以全氟聚醚(PFPE)为疏水材料通过喷雾沉积法制备MPL，结果表明，该MPL与PTFE所制备的MPL相比，其疏水性能和电池性能均有显著提高。Sun等人^[12]采用炭黑与聚二甲基硅氧烷(PDMS)相结合的方法制备了具有超疏水性和分层微纳米结构的GDL，其中分层微纳米结构具有优异的自愈性，而PDMS分解产物使MPL表面张力降低，从而确保了超疏水性。氟化沥青表面能是PTFE的1/10，由于极低的表面能，有望在用于MPL的制备中获得强的疏水性。因此，本研究采用氟化中间相沥青作为疏水试剂对碳纸进行疏水改性，以期达到提高碳纸疏水性的目的。

1 实验

1.1 原料与仪器

碳纸(石墨化碳纸, CP, 实验室自制); 氟化中间相沥青(氟碳比=1.24); 三氟甲苯(上海阿拉丁科技股份有限公司)。

电热恒温油浴锅(HHS-1, 天津天有利科技有限公司); 电热鼓风干燥箱(DHG-9070A, 上海一恒科技有限公司); 测厚仪(CHY-C2A, 山东济南兰光产品); 动态接触角测定仪(德国Kruss公司); 台式扫描电子显微镜(TM3030, 日本Hitachi公司); X射线

光电子能谱仪(K-alpha, Thermofisher公司); 四探针电阻测试仪(280SI, 美国Dimension, Inc.公司); 热重分析仪(STA449F3, 德国耐驰公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 浸渍法改性碳纸工艺

本研究利用氟化沥青的可溶解性质，将氟化中间相沥青(FMP)溶解于三氟甲苯溶液配成溶液。步骤为：取0.6 g FMP在50℃下溶解于30 g三氟甲苯溶液，将碳纸浸渍于上述溶液，浸渍时间分别为1、2、3、4 min，对应碳纸上氟化沥青负载量分别为2 wt%、6 wt%、10 wt%、14 wt%，随后将碳纸置于120℃下干燥得到疏水碳纸，浸渍法改性碳纸编号为ICP-1、ICP-2、ICP-3、ICP-4。

1.2.2 气相沉积法改性碳纸工艺

本研究利用氟化沥青的升华特性完成氟化沥青在碳纸上的负载。图1为FMP热重分析图。由图1可知，FMP在410℃左右发生质量损失，表现出明显的放热峰，说明FMP在410℃左右发生热升华。酒精灯的加热温度一般在400~500℃之间，实验采用酒精灯加热FMP，使其升华成氟炭化合物^[13]，然后气相沉积到碳纸表面。

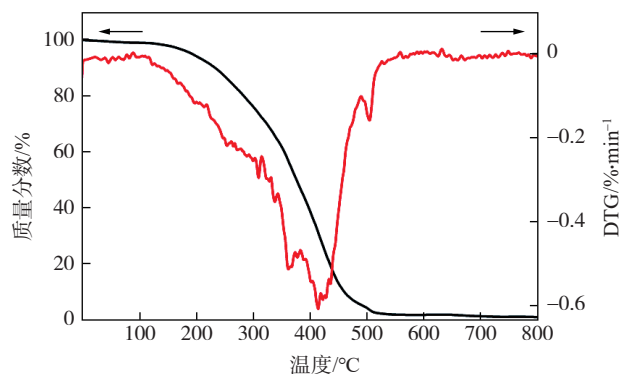


图1 FMP的TG-DTG图

Fig. 1 TG-DTG diagram of FMP

通过控制沉积时间4、7、10、15 min，得到对应的氟化沥青负载量分别为2 wt%、6 wt%、10 wt%、14 wt%的疏水碳纸，气相沉积法改性碳纸编号为VCP-1、VCP-2、VCP-3、VCP-4。

1.3 性能表征

采用扫描电子显微镜分析碳纸表面形貌；碳纸的疏水性能通过动态接触角测定仪进行测量；采用X射线光电子能谱仪对碳纸表面化学元素进行表征；碳纸的厚度和面电阻分别由测厚仪和四探针电阻测试仪表征。

2 结果与讨论

2.1 疏水改性对碳纸表面形貌的影响

碳纸的浸渍改性是通过浸渍的方式把疏水物质负载到碳纸上，从而使碳纸获得疏水的能力。通常来说，负载量和疏水物质在碳纸表面的均匀程度直接影响到碳纸的疏水性能。通过SEM图能够直观地观察改性后的碳纸表面形貌，图2是浸渍法疏水改性后碳纸的SEM图。从图2中可以清楚地看到，经过120°干燥后，不同浸渍时间的碳纸上负载FMP溶液的溶剂均已经完全挥发，FMP明显且均匀地负载在碳纸纤维的表面。当浸渍时间为1 min时FMP负载量为2 wt%，从图2(a)可以看出只有少量的FMP负载于碳纸表面。而随着FMP浸渍时间的增加，FMP在碳纸上的负载量也随之增多，当浸渍时间增加到4 min后负载量也随之提升到了14 wt%，从扫描电镜图中明显地看到随着浸渍时间的延长碳纸表面的FMP负载量不断增加，从开始仅附着在纤维的表面逐渐过渡到附着在纤维内部以及填充纤维之间的空隙。更多的FMP可以使碳纸表面拥有更多的疏水基团，从而使碳纸拥有更好的疏水效果。尽管FMP使纤维之间的空隙有一部分被填充但依然留有较多的贯通孔，这些空隙可以起到导气排水的作用。从图2中还可以观察到负载在碳纸上的FMP存在一定的开裂现象，推测这是由于干燥过程中溶剂的快速挥发引起FMP收缩造成的。

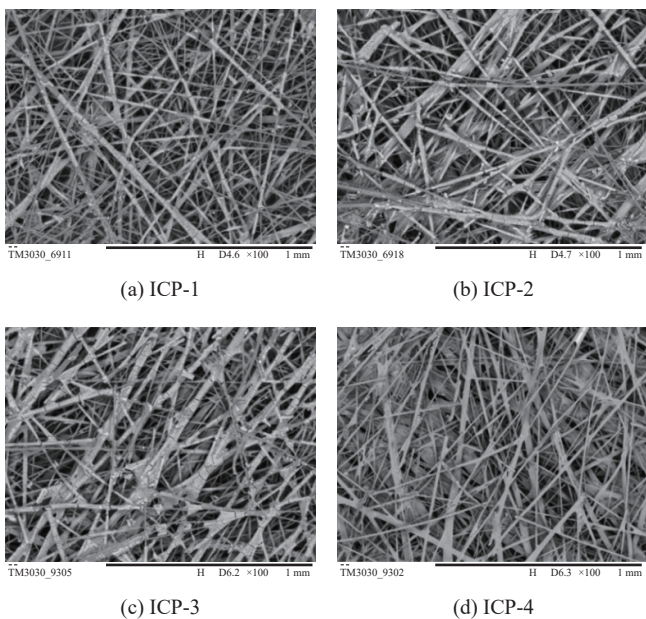


图2 浸渍FMP碳纸的SEM图

Fig. 2 SEM images of carbon papers impregnated FMP

碳纸的气相沉积改性是通过热分解的方式把疏水物质沉积到碳纸上。图3为气相沉积法负载FMP的疏水改性碳纸SEM图。与浸渍法相比，图3表明，气相沉积法负载FMP没有明显附着在纤维之间的空隙中，而以液滴状包覆在单根碳纤维表面的形式存在，负载在碳纸表面的FMP没有开裂。另外，由图3也可以看出，随着沉积时间的增加，FMP负载量也增加。

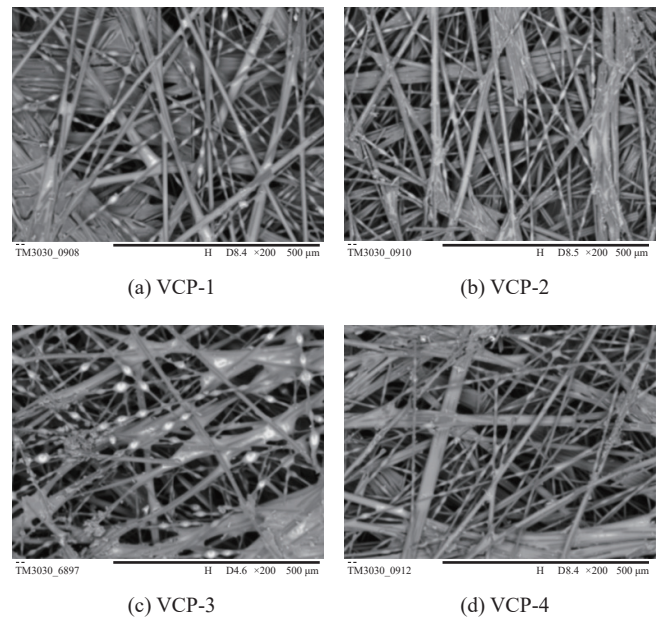


图3 气相沉积FMP碳纸的SEM图

Fig. 3 SEM images of carbon papers vapor deposition FMP

2.2 疏水改性对碳纸接触角的影响

为表征改性后的碳纸疏水程度，对疏水改性碳纸进行接触角测试。本课题组制备的石墨化碳纸接触角在90°~100°之间，疏水性能较差。商用聚四氟乙烯疏水改性后的碳纸接触角为122°。图4为疏水改性后碳纸的接触角测试结果，由图4可以看出，随着FMP负载量的增加，其碳纸的接触角也随之增加。这主要是因为更多FMP负载在碳纸的表面，为碳纸提供更多的疏水官能团。通过前面的SEM结果可知两种改性方法均可以有效地将FMP负载在碳纸的表面，而接触角测试验证了负载FMP能够提高碳纸的疏水性。同时可以看出，气相沉积法改性碳纸接触角增加幅度较低，VCP-1的接触角为114°，VCP-3的接触角为118°，当FMP负载量提升到14 wt%时，VCP-4的接触角仅提高至119°。而浸渍法改性的碳纸接触角增加幅度较为明显，由ICP-1的124°提高到FMP负载量为10 wt%及14 wt%时的139°及141°。经PTFE改性的日本碳纸的接触角为122°，这表明浸渍法改性对提高

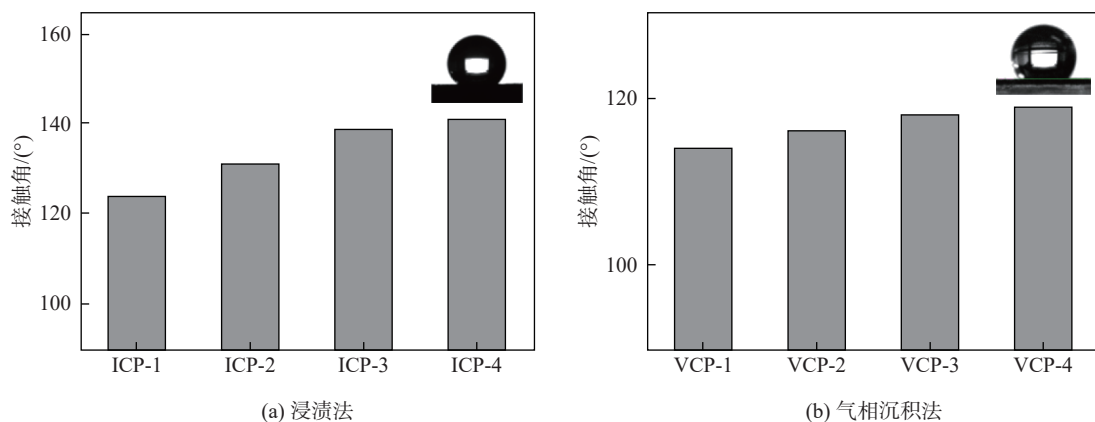


图4 疏水改性后碳纸的接触角

Fig. 4 Contact angle of carbon paper after hydrophobic modification

碳纸的疏水性有显著的效果，得到的改性碳纸可以满足GDL的使用需求。

2.3 碳纸表面元素分析

为了进一步分析碳纸改性后疏水性能提高的原因，利用X射线光电子能谱仪(XPS)定量分析石墨化碳纸以及用两种方法疏水改性后碳纸的表面化学元素以及官能团的变化，疏水碳纸分别选取的FMP负载量为10 wt%的ICP-3和VCP-3。

图5为碳纸的XPS测试谱图，表1为3组碳纸表面的元素含量。如图5所示，CP谱图中仅存在明显的C、O峰，且C和O元素的含量分别为89.70%和10.70%。经过FMP改性后，在ICP-3和VCP-3中，碳纸表面除了存在C1s峰和O1s峰外，均有非常明显的F峰出现，这表明碳纸的表面成功引入了大量F元素。由表1可知，两种改性方法引入的F元素含量大致相同，分别是68.96%和68.22%。XPS统计显示ICP-3和VCP-3的氟碳比为2.40和2.37，远高于FMP的氟碳比1.24。这主要是因为氟化沥青是一种混合物，由不同分子质量的组分组成。研究发现，FMP溶解时分子质量大的组分未能完全溶解，沉积在底部，溶解的是较小分子质量的组分。较小分子质量的组分分子结构最边缘是—CF₃化学键，氟碳比高于大分子质量组分的氟碳比。通过浸渍法制备的碳纸渍入的是溶解的小分子组分，所以ICP-3的氟碳比高于FMP的氟碳比。而相同的情况，在气相沉积过程中，FMP的小分子质量组分首先以气态形式逸出并负载到碳纸表面，所以制备的疏水改性碳纸的表面大多是较小分子质量的组分，故VCP-3的氟碳比也高于FMP的氟碳比。

为进一步考察疏水改性后碳纸表面化学官能团种类，对C1s峰进行分峰拟合。图6是碳纸表面能谱中

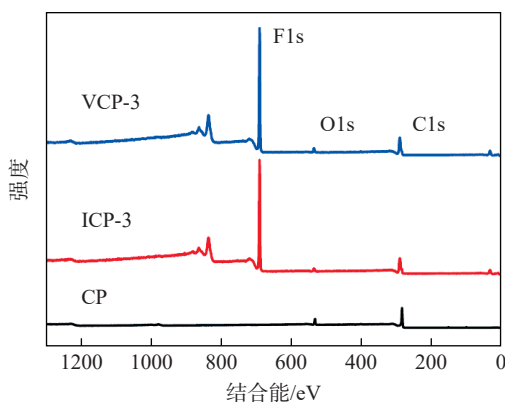


图5 碳纸XPS谱图

Fig. 5 XPS spectra of carbon paper

表1 碳纸表面元素含量

Table 1 Surface element content of carbon paper

样品	C/%	O/%	F/%	F/C
CP	89.70	10.30	0	0
ICP-3	28.70	2.34	68.96	2.40
VCP-3	28.78	3.00	68.22	2.37

C1s分峰拟合曲线。如图6所示，石墨化碳纸表面主要以C—C和C—O状态存在，经过FMP疏水处理后，碳纸表面主要以C—C、O—C=O、C—F、—CF₂CF₂—和—CF₃的化学态存在。随着F元素的引入，碳纸表面C—C的比例下降，碳氟键增加。研究显示材料的疏水性能与含氟官能团的种类有关，含氟官能团越多疏水性能越优异，一般认为C—F、—CF₂CF₂—和—CF₃3种含氟官能团都对提高疏水性能有贡献，但—CF₃>—CF₂CF₂—>C—F，起决定性作用的是一CF₃^[14]。表2为不同碳纸中含氟官能团碳氟键的比例，由表2

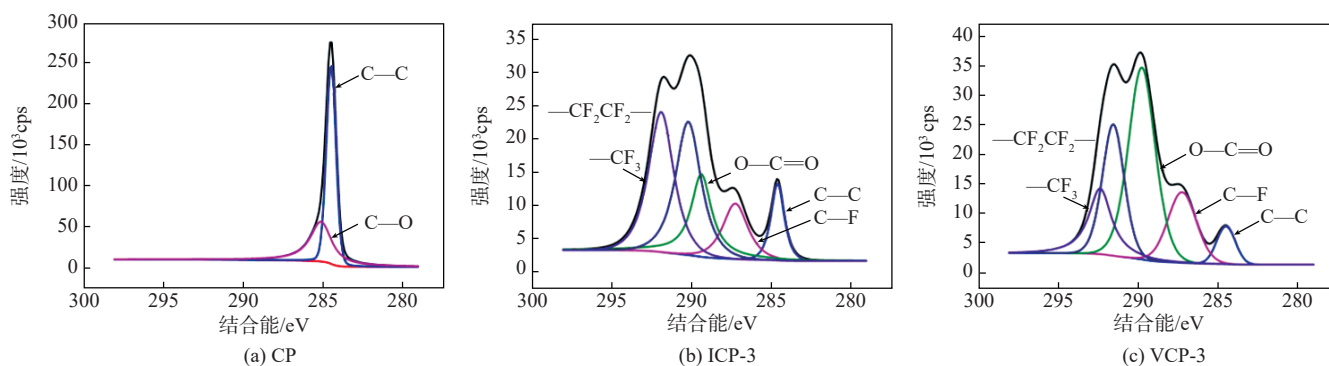


图6 碳纸表面能谱中C1s分峰拟合曲线

Fig. 6 C1s peak fitting curve in the surface energy spectrum of carbon paper

可以看出, ICP-3表面的一CF₃含量明显高于VCP-3,说明当FMP负载量为10 wt%时,浸渍法改性的碳纸疏水性能更加优异。因此,两种改性方法虽然负载量相同,但是一CF₃表面官能团的含量却相差较大,这也从碳纸的表面官能团种类和含量方面解释了浸渍法改性具有更优异的疏水性能。

表2 不同碳纸中含氟官能团碳氟键的比例

Table 2 The ratio of carbon-fluorine bonds of carbon paper %

样品	C—F	—CF ₂ CF ₂ —	—CF ₃
ICP-3	16.5	41.0	42.5
VCP-3	29.5	43.0	27.5

2.4 疏水改性对碳纸厚度及表观密度的影响

为进一步说明两种疏水改性方法对碳纸宏观结构的影响,采用测厚仪表征碳纸经过两种疏水改性方法前后厚度的变化,并经过计算得出其疏水改性前后相应的碳纸表观密度变化。表3为浸渍法制备碳纸在改性后的厚度、表观密度变化。从表3中发现经过FMP浸渍后碳纸厚度增加,这表明经过浸渍后FMP成功附着在了碳纸的表面和内部,而且随着FMP负载量的增加碳纸的厚度也逐渐增加。但经过计算发现浸渍FMP后碳纸的表观密度减小,这主要是因为浸渍FMP后碳纸的质量和厚度均增加,而相比于较大的厚度变化,变化幅度较小的质量变化最终导致表观密度减小。

表4为气相沉积法得到的疏水改性碳纸厚度和表观密度变化。与浸渍法得到的结果相似,随着FMP负载量的增加,碳纸厚度也随之增加,表观密度减小。但在FMP负载量一定时,利用气相沉积法得到的改性碳纸厚度增加幅度略高于浸渍法得到的改性碳纸。如当FMP负载量为14 wt%时,VCP-4厚度比改

性前增加了39.8%,而ICP-4仅增加了28.7%。这说明浸渍法可以使FMP同时附着在碳纸的表面和内部的孔隙中,而气相沉积法使更多FMP沉积到碳纸表面,且图3 SEM照片表明气相沉积法中FMP以液滴状存在,这也在一定程度上增加了碳纸的厚度。

表3 FMP浸渍法改性碳纸厚度、表观密度的变化

Table 3 Changes in thickness and apparent density of modified carbon paper by FMP impregnation method %

样品	厚度增加	表观密度减小
ICP-1	10.6	7.4
ICP-2	18.2	12.0
ICP-3	26.5	13.1
ICP-4	28.7	26.5

表4 FMP气相沉积法改性碳纸厚度、表观密度的变化

Table 4 Changes in thickness and apparent density of modified carbon paper by FMP vapor deposition %

样品	厚度增加	表观密度减小
VCP-1	21.1	11.0
VCP-2	22.9	12.5
VCP-3	25.3	14.7
VCP-4	39.8	19.3

2.5 疏水改性对碳纸电阻率的影响

碳纸在用作燃料电池中气体扩散层时,气体扩散层的导电性对燃料电池性能至关重要。通过四探针方阻测试仪来表征碳纸的电阻率,考察FMP对碳纸导电性能的影响。图7为疏水改性后碳纸电阻率的变化。由图7(a)可知,与石墨碳纸的电阻率4.3 mΩ·cm相比,浸渍改性后碳纸的电阻率随着FMP负载量的增加而增大,这主要是因为复合材料的导电性是由于

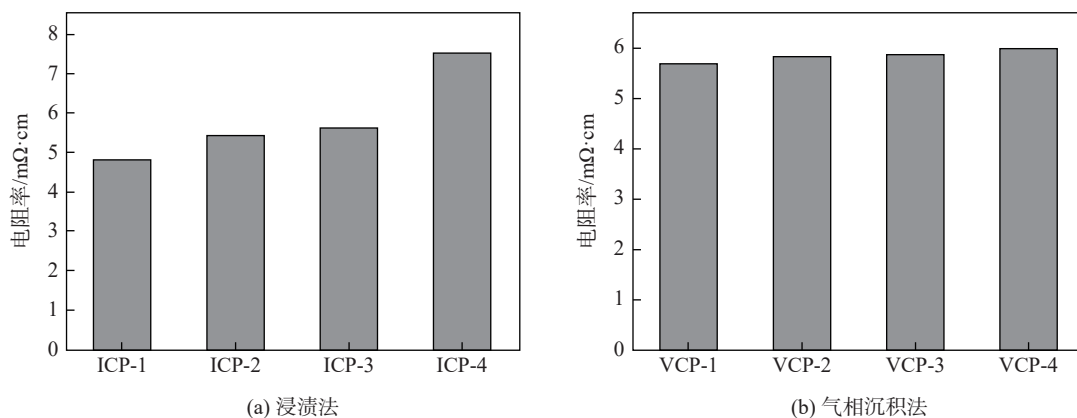


图7 疏水改性后碳纸的电阻率

Fig. 7 Resistivity of carbon paper after hydrophobic modification

导电材料和导电材料空隙之间的隧道效应共同作用的结果^[15]，而附着在碳纤维表面的FMP不具备导电性。另一方面，随着FMP负载量的增加碳纸厚度也将随之增加，这也是碳纸随着负载量增加而造成电阻率增加的一个原因。当FMP负载量为14 wt%时，存在于碳纸中的FMP阻碍电子运动作用显著增强，导致电阻率增加至 $7.5 m\Omega \cdot cm$ ，电阻率过大不符合GDL的使用要求，因此利用浸渍法改性碳纸FMP的负载量不宜过高。当FMP负载量为10 wt%时，电阻率为 $5.6 m\Omega \cdot cm$ 。由图7(b)可以看出，气相沉积法制备的改性碳纸电阻率无明显变化，当FMP负载量从2 wt%增加到10 wt%再到14 wt%时，电阻率从 $5.7 m\Omega \cdot cm$ 仅增加到 $5.9 m\Omega \cdot cm$ 再到 $6.0 m\Omega \cdot cm$ ，说明FMP受热升华的氟碳化合物对碳纸的导电性影响很小。此外，根据前面的厚度测试结果可知，随着气相沉积负载量的提高造成碳纸的厚度增加，而电阻率和厚度成正比，但是电阻率表征结果显示无明显变化，推测这主要是因为四探针方阻测试时探针接触没有完全附着FMP的碳纤维造成的。

3 结论

本研究以氟化中间相沥青(FMP)作为疏水试剂，分别采用浸渍法和气相沉积法对碳纸进行疏水改性，考察负载工艺和负载量对改性碳纸的性能影响。

3.1 采用浸渍法改性碳纸可以将FMP均匀地附着在碳纤维上，通过控制浸渍时间可以有效控制FMP的负载量。随着FMP负载量的增加，碳纸的厚度增加，表观密度减小，电阻率增加，接触角增加。为了保证改性碳纸的导电性，FMP负载量不宜过高，FMP负载量为10 wt%时，改性碳纸的综合性能最优异，电

阻率为 $5.6 m\Omega \cdot cm$ ，接触角为 139° ，疏水性能明显优于PTFE改性的日本碳纸。

3.2 采用气相沉积法改性碳纸也可以将FMP负载在碳纸表面，通过控制不同沉积时间可以有效控制FMP的负载量。当FMP负载量为10 wt%时，电阻率为 $5.9 m\Omega \cdot cm$ ，接触角为 118° ，提高了碳纸的疏水性能。

3.3 浸渍法和气相沉积法负载FMP制备疏水改性碳纸均会提高碳纸的疏水性能，但浸渍法疏水改性碳纸性能优于气相沉积法疏水改性碳纸，本研究为氟化沥青在疏水改性方向提供了一种新的可行方案。

参 考 文 献

- [1] Park S, Lee J W, Popov B N. A review of gas diffusion layer in PEM fuel cells: Materials and designs [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2012, 37(7): 5850-5865.
- [2] Du X, Yan Z, Wang E, et al. A High Performance Air Cathode with the Hydrophobic Pores Distributed Continuously and in Gradient for Zinc-Air Fuel Cells [J]. Energy Technology, 2018, 6(10): 1860-1864.
- [3] 吴锦涵, 郭大亮, 刘涛, 等. 碳纤维纸基复合材料研究进展 [J]. 中国造纸, 2020, 39(7): 69-75.
WU J H, GUO D L, LIU T, et al. Research Progress of Carbon Fiber Paper-based Composites [J]. China Pulp & Paper, 2020, 39(7): 69-75.
- [4] 许跃, 刘文, 刘群华. 质子交换膜燃料电池用碳纤维纸的研究进展 [J]. 中国造纸, 2009, 28(9): 68-72.
XU Y, LIU W, LIU Q H. Research Progress of Carbon Fiber Paper for Proton Exchange Membrane Fuel Cell [J]. China Pulp & Paper, 2009, 28(9): 68-72.
- [5] 魏元露, 唐浩林, 潘牧. 炭黑及聚四氟乙烯对气体扩散层性能的影响 [J]. 电池工业, 2011, 16(5): 317-320.
WEI Y L, TANG H L, PAN M. The effect of carbon black and polytetrafluoroethylene on the performance of gas diffusion layer [J]. Battery Industry, 2011, 16(5): 317-320.

- [6] Bevers D, Rogers R, Bradke M. Examination of the influence of PTFE coating on the properties of carbon paper in polymer electrolyte fuel cells[J]. *Journal of Power Sources*, 1996, 63(2):193-201.
- [7] 汪圣龙, 杨绍军, 潘牧, 等. PTFE载量对气体扩散层性能的影响[J]. *电池*, 2004 (6): 401-402.
WANG S L, YANG S J, PAN M, et al. The influence of PTFE loading on the performance of gas diffusion layer[J]. *Battery*, 2004 (6): 401-402.
- [8] 谢屹, 陈涛, 刘士华, 等. PTFE含量对PEMFC性能影响的数值分析[J]. *电池*, 2020, 50(2): 118-122.
XIE Y, CHEN T, LIU S H, et al. Numerical analysis of the effect of PTFE content on the performance of PEMFC[J]. *Battery*, 2020, 50 (2): 118-122.
- [9] Giorgi L, Antolini E, Pozio A, et al. Influence of the PTFE content in the diffusion layer of low-Pt loading electrodes for polymer electrolyte fuel cells[J]. *Electrochimica Acta*, 1998, 43(24): 3675-3680.
- [10] Truong V M, Wang C L, Yang M, et al. Effect of tunable hydrophobic level in the gas diffusion substrate and microporous layer on anion exchange membrane fuel cells [J]. *Journal of Power Sources*, 2018, 402: 301-310.
- [11] Latorrata S, Sansotera M, Gola M, et al. Innovative Perfluoropolyether-Functionalized Gas Diffusion Layers with Enhanced Performance in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells[J]. *Fuel Cells*, 2020, 20(2): 166-175.
- [12] Sun Y, Liu W, Xu D, et al. Self-healing of super hydrophobic and hierarchical surfaces for gas diffusion layer [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, 45(54): 29774-29781.
- [13] 史景利, 宋进仁, 刘朗. 氟化沥青的制备、性质和应用[J]. *新型碳材料*, 1997 (4): 31.
SHI J L, SONG J R, LIU L. Preparation, properties and application of fluorinated pitch[J]. *New Carbon Materials*, 1997 (4): 31.
- [14] 张金才, 史景利, 郭学民, 等. 氟化沥青性质与分子结构的关系[J]. *新型炭材料*, 2010, 25(3):205.
ZHANG J C, SHI J L, GUO X M, et al. The relationship between the properties of fluorinated pitch and molecular structure[J]. *New Carbon Materials*, 2010, 25(3):205.
- [15] 周兆云. 燃料电池气体扩散电极用碳纳米管/碳纤维复合碳纸的制备[D]. 上海: 东华大学, 2008.
ZHOU Z Y. Preparation of carbon nanotube/carbon fiber composite carbon paper for gas diffusion electrode of fuel cell[D]. Shanghai: Donghua University, 2008. [CPP]

(责任编辑:刘振华)

· 消息 ·

中国造纸院：推进绿色制造助力行业绿色低碳循环发展

2021年2月2日，国务院下发了关于《加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》（国发〔2021〕4号）。《指导意见》提出，到2025年，产业结构、能源结构、运输结构明显优化，绿色产业比重显著提升，基础设施绿色化水平不断提高，清洁生产水平持续提高，生产生活方式绿色转型成效显著，能源资源配置更加合理、利用效率大幅提高，主要污染物排放总量持续减少，碳排放强度明显降低，生态环境持续改善，市场导向的绿色技术创新体系更加完善，法律法规政策体系更加有效，绿色低碳循环发展的生产体系、流通体系、消费体系初步形成。到2035年，绿色发展内生动力显著增强，绿色产业规模迈上新台阶，重点行业、重点产品能源资源利用效率达到国际先进水平，广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国建设目标基本实现。

《指导意见》从生产、流通、消费、基础设施、绿色技术、法律法规政策等6方面对绿色低碳循环发展做出了部署安排，提出推进工业绿色升级，加快实施重点行业绿色化改造，推行产品绿色设计，建设绿色制造体系；加快农业绿色发展，加强绿色食品、有机农产品认证和管理，发展生态循环农业；提高服务业绿色发展水平，培育绿色流通主体，规范发展闲置资源交易；壮大绿色环保产业，建设国家绿色产业示范基地，打造一批大型绿色产业集团；提升产业园区和产业集群循环化水

平，推进既有产业园区和产业集群循环化改造；构建绿色供应链，开展绿色供应链试点。

工业和信息化部节能与综合利用司先前也指出：2021年是“十四五”开局之年，工业和信息化系统坚持把推进工业绿色发展作为落实生态文明建设要求的硬任务，坚决贯彻新发展理念，以供给侧结构性改革为主线，进一步加大工作力度，将工业节能与绿色发展引向深入。

中国造纸院积极开展绿色制造体系评价/节能/低碳服务工作

中国制浆造纸研究院有限公司作为依托工信部绿色制造公共服务平台的第三方评价机构、节能、低碳服务机构，将一如既往贯彻落实相关要求，积极服务行业健康发展，着力为造纸相关企业的绿色工厂、绿色设计产品（包括纸巾纸、卫生纸、擦手纸、厨房纸巾等生活用纸；白板纸、箱纸板、瓦楞原纸等包装纸及纸板）、绿色园区、绿色供应链相关的绿色、节能、低碳制造体系创建提供技术服务。欢迎广大企业积极参加绿色制造申报、节能诊断、减碳工作，共同加快造纸行业建立健全绿色低碳循环发展经济体系。

绿色制造申报/节能/低碳服务

联系人：郭彩云 15801270478 010-64778171

黄举 18842639733 010-64778172

邮箱：cpi@vip.163.com