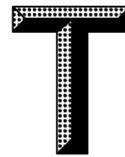


ICS 27.070
CCS C 384



团 体 标 准

T/CI 876—2025

质子交换膜燃料电池用炭纸

Carbon paper for proton exchange membrane fuel cells

2025-01-20 发布

2025-01-20 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号	3
4 技术要求	4
4.1 厚度均匀性	4
4.2 机械强度	5
4.3 电阻率	5
4.4 压缩特性	5
4.5 透气性能	5
4.6 孔隙率	5
4.7 弯曲挺度	5
4.8 粗糙度	5
4.9 导热系数	5
4.10 宽度	5
4.11 外观	5
5 测试准备	5
5.1 样品准备	5
5.2 测试准备	6
5.3 测试仪器和器具	6
6 测试方法	6
6.1 厚度均匀性	6
6.2 拉伸强度	7
6.3 电阻率	8
6.4 压缩特性	9
6.5 透气性能	10
6.6 孔隙率	12
6.7 弯曲挺度	12
6.8 粗糙度	14
6.9 静态接触角	14
6.10 导热系数	14

7 检验规则	15
7.1 出厂检验	15
7.2 型式检验	15
8 标识、包装、运输、储存	16
8.1 标识	16
8.2 包装	16
8.3 运输	16
8.4 储存	16
参考文献	17

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国华电科工集团有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：中国华电科工集团有限公司、国科领纤新材料(常州)有限公司、广东冠豪新材料研发有限公司、宁波柔创纳米科技有限公司、华碳新材料科技(宿迁)有限公司、上海碳动新能源科技有限公司、宿州天尚安能碳材料科技有限公司、杭州幄肯新材料科技有限公司、广东中科爱嵘新材料科技有限公司、国家电投集团氢能科技发展有限公司、深圳市氢蓝时代动力科技有限公司、新研氢能源科技有限公司、新源动力股份有限公司、上海亿氢科技有限公司、东方电气(成都)氢能科技有限公司、深圳市贝特瑞新能源技术研究院有限公司、浙江凯丰新材料股份有限公司、江苏泽宇森碳纤维科技股份有限公司、浙江金昌特种纸股份有限公司、广东氢发新材料科技有限公司。

本文件主要起草人：尧克光、吴刚平、奎明红、解明、巨安奇、王燕、郑志锋、唐波、谭健民、刘颖、曹桂军、齐志刚、李光伟、李少博、李婷、李子坤、计磊、孙宇、孟育、雷丰林、王昕、徐汝义、陈红婷、李帅。

质子交换膜燃料电池用炭纸

1 范围

本文件规定了质子交换膜燃料电池用炭纸的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和储存。

本文件适用质子交换膜燃料电池用炭纸。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 1040.3 塑料拉伸性能的测定 第3部分:薄膜和薄片的试验条件

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 20042.1—2017 质子交换膜燃料电池 第1部分:术语

GB/T 21650.1 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度 第1部分:压汞法

GB/T 30693—2014 塑料薄膜与水接触角的测量

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

GB/T 20042.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

炭纸 carbon paper

(以可碳化的粘结剂)把均匀分散的碳纤维粘结在一起后而形成的多孔纸状型材,经碳化完成后的产品。

3.1.2

垂直方向面电阻 through-plane area resistance

在规定的压力条件下,炭纸的欧姆电阻乘以其有效面积。

注:单位为毫欧平方厘米($\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$)。

3.1.3

垂直方向电阻率 through-plane resistivity

炭纸垂直方向的电阻率。

注:单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$)。

3.1.4

平面方向电阻率 in-plane resistivity

炭纸平面方向的电阻率。

注:单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$)。

3.1.5

透气率 gas permeability

在恒定温度下,单位压差、单位时间气体透过单位厚度、单位面积样品上的气体体积。

注:单位为毫升毫米每平方米每小时每帕[mL·mm/(cm²·h·Pa)]。

3.1.6

透气系数 gas permeability coefficient

单位面积样品对一种气体在一定压强、一定气体压差、一定温度、一定的气体流速率下的透过能力。

注:单位为平方米(m²)。

3.1.7

孔隙率 porosity

炭纸中孔隙体积占其总体积的百分率。

3.1.8

拉伸强度 tensile strength

炭纸在两端承受拉力处于拉伸状态时,样品所能承受的极限载荷。

注:单位为兆帕(MPa)。

3.1.9

弯曲挺度 bending stiffness

在弹性形变范围内样品受力弯曲时所需要的力矩。

注:单位为毫牛米(mN·m)。

3.1.10

表面粗糙度 surface roughness

炭纸表面微小峰谷的微观不平度。

通常用一个取样长度 L 内,轮廓上各点到轮廓中线 X 绝对值的算术平均值(轮廓的算术平均偏差 Ra)或用最大轮廓峰高与最大轮廓谷深之和(轮廓的最大高度 Rz)来表示。

注:粗糙度统计示意图如图 1 所示,单位为微米(μm)。

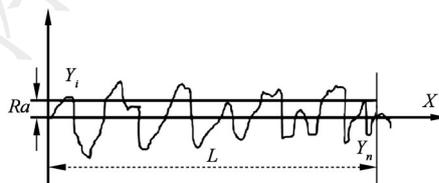


图 1 粗糙度统计示意图

3.1.11

静态接触角 static contact angle

液体在炭纸表面形成液滴并达到平衡时,在气、液、固三相交点处作气液界面的切线,该切线与固液交界线之间的夹角 θ 。

注:接触角测量示意图如图 2 所示,单位为度($^{\circ}$)。

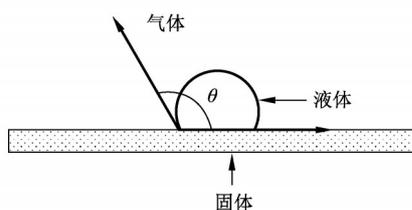


图2 接触角示意图

3.1.12 导热系数 thermal conductivity

单位温度差、单位面积、单位时间内通过单位厚度炭纸的热量。

注：单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)]。

3.2 符号

本标准中使用的符号、定义、单位见表1。

表1 常用符号、单位、定义

符号	定义	单位
常用参数		
n	测量数据点数	
M	样品的质量	g
L_{CP}	样品的长度	mm
W_{CP}	样品的宽	mm
IP	平面方向	
TP	垂直方向	
TD	卷材产品幅宽方向(横向)	
MD	卷材产品长度方向(纵向)	
厚度均匀性		
\bar{d}	一定压强下,样品的平均厚度	μm
d_i	25kPa下,样品某一点的厚度测量	μm
σ	25kPa下,样品厚度的标准偏差	μm
δ	离散系数,反应单位均值上的离散程度	
电阻		
ρ_{in}	样品平面方向的电阻率	$\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$
ρ_i	不同部位电阻率测量值	$\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$
G	样品厚度校正系数	
D	样品形状校正系数	
r_c	样品垂直方向的面电阻	$\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$
ρ_t	样品垂直方向电阻率	$\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$
R_m	仪器的测量值,即垂直方向电阻率、铜电极本体电阻和两个样品与电极间的接触电阻的总和	$\text{m}\Omega$
R_c	两个铜电极本体电阻、样品与两个电极间的接触电阻总和	$\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$
S	样品与两个电极之间的接触面积	cm^2
\bar{d}	一定压强下,样品的平均厚度	μm
机械强度		

表1 常用符号、单位、定义(续)

符号	定义	单位
T_s	样品的拉伸强度	MPa
F_b	样品断开时记录的负荷	N
压缩特性		
γ	一定压强下的压缩率	
d_0	样品的初始厚度,即压强为25 kPa时的厚度	mm
弯曲挺度		
B	弯曲挺度	mN·m
F	通过移动弯曲测试头向试样施加的作用力	N
L	弯曲长度,即试样夹顶端与弯曲测头间的距离	mm
d_r	试样的挠度,即弯曲测头的位移	mm
b	试样的宽度	mm
透气性能		
V_{pe}	样品的透气率	mL·mm/ (cm ² ·h·Pa)
V_s	在压差($p_s - p_0$)下气体通过样品的体积流速	mL/min
Q	样品测试时在压差 ΔP 下的气体体积流速	m ³ /s
P_s	测试样品时,微量压差计示数	Pa
P_0	空白样品的微量压差计示数	Pa
k	样品的透气系数	m ²
μ	样品测试时所使用气体在测试温度下的粘度	Pa·s
h	样品测试时在一定压强下的厚度	m
A	样品的测试面积	m ²
P_i	样品测试过程中,进气侧与出气侧的压力差	Pa
P_0	样品测试过程中,空白样品的进出气压力差	Pa
粗糙度		
Ra	轮廓算术平均偏差	μm
$ Y_i $	轮廓上各点到轮廓中线纵坐标绝对值	μm
n_s	选取的取样长度的个数	
\overline{Ra}	平均轮廓算术平均偏差	μm
导热系数		
λ	导热系数	W/(m·K)
Q	传导的热量	J
$T_2 - T_1$	样品上下表面的稳定温度差	K
t	传导热量的时间	s
L	样品的长度	m

4 技术要求

4.1 厚度均匀性

炭纸厚度离散系数应不大于10%。

4.2 机械强度

炭纸沿长度方向(MD)的拉伸强度应不小于 10 MPa,沿宽度方向(TD)的拉伸强度应不小于 5 MPa。

4.3 电阻率

4.3.1 炭纸垂直方向面电阻 1 MPa 压力下不大于 $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 。

4.3.2 炭纸垂直方向电阻率 1 MPa 压力下不大于 $600 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 。

4.3.3 平面方向电阻率应满足不大于 $30 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 。

4.4 压缩特性

炭纸在 1 MPa 压力下的压缩率应满足:不大于 30%,不小于 15%。

4.5 透气性能

4.5.1 炭纸垂直方向透气率应不小于 $100 \text{ mL} \cdot \text{mm} / (\text{cm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$ 。

4.5.2 1 MPa 压力下,炭纸平面方向透气系数不小于 $2 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 。

4.6 孔隙率

炭纸孔隙率应不小于 75%。

4.7 弯曲挺度

弯曲挺度应满足沿长度方向不小于 $0.4 \text{ mN} \cdot \text{m}$,沿宽度方向不小于 $0.2 \text{ mN} \cdot \text{m}$ 。

4.8 粗糙度

炭纸的粗糙度 R_a 不大于 $20 \mu\text{m}$ 。

4.9 导热系数

在 1 MPa 压力下,炭纸导热系数应不小于 $0.5 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 。

4.10 宽度

炭纸宽度由供需双方商定,允许偏差为 $\pm 3 \text{ mm}$ 。

4.11 外观

4.11.1 炭纸表面不应出现破损、裂纹、折皱、水纹印、辊压痕、碳粉堆积。

4.11.2 炭纸不应出现分层现象。

4.11.3 炭纸翘曲、纤维集束以及其他外观问题由供需双方商定具体指标及评判标准。

5 测试准备

5.1 样品准备

5.1.1 尺寸为 25 cm^2 ($5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$) 的测试样品数量不少于 20 个;尺寸为 100 cm^2 ($10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$) 的测试样品数量不少于 15 个。样品形状和尺寸也可由测试双方协商决定。

5.1.2 样品应无褶皱、划痕和破损。

5.1.3 每一项测试至少测试 3 次(确保得到 3 个有效值)。

5.2 测试准备

5.2.1 对于每项试验,应选择符合精度要求的检测仪器及设备,以便将设备误差减到最小。

5.2.2 如无特殊说明,测试环境条件分别为:温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $50\%\pm 20\%$ 。

5.3 测试仪器和器具

本部分给出的试验方法使用的仪器和器具及其精度要求如下。

- 测厚仪:用于测量样品的厚度,精度为 $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$ 。
- 长度测量仪:用于测试样品的长度和宽度,精度为 $\pm 0.02\text{ mm}$ 。
- 精密电子天平,用于测试样品的质量,精度为 $\pm 0.1\text{ mg}$ 。
- 四探针电阻率测试仪:用于测试样品平面方向的电阻率,精度为 $\pm 0.1\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 。
- 低电阻测试仪:用于测试样品的垂直方向电阻,精度为 $\pm 0.01\text{ m}\Omega$ 。
- 机械性能试验机,用于测试样品的拉伸强度和弯曲强度,力精度为其量程 $\pm 0.5\%$ 。
- 机械性能试验机,用于测试样品的压缩强度,力精度为其量程 $\pm 0.5\%$ 。
- 表面粗糙度轮廓仪:精度为 $\pm 0.5\text{ }\mu\text{m}$ 。
- 微压差计:用于测试压差,精度为 $\pm 2\text{ Pa}$ 。
- 微量调节阀:用于调节进气流量,精度为其满量程的 $\pm 1\%$ 。
- 气体流量计:用于测量气体流量,精度为其满量程的 $\pm 1\%$ 。
- 挺度仪:能测定试样挺度所规定的弯曲力或力矩的装置,弯曲角度为 $15^{\circ}\pm 0.3^{\circ}$ (或 $7.5^{\circ}\pm 0.3^{\circ}$);标称的弯曲长度为 50 mm ,仪器测量范围至少为 $0.5\text{ mN}\cdot\text{m}\sim 5.0\text{ mN}\cdot\text{m}$ 。
- 导热系数测试仪:用于测试样品的导热系数,垂直方向导热系数测试所需仪器范围至少为 $0.5\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim 10.0\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,精度为 $\pm 0.1\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;温差测量的不确定性应处于实际温差的 $\pm 0.5\%$ 范围之内;传感器准确度为最小输出的 $\pm 0.5\%$ 。
- 接触角测试仪:用于测量样品的接触角,测量分辨率: 0.1° ,测定精度 $\pm 1^{\circ}$ 。

6 测试方法

6.1 厚度均匀性

6.1.1 测厚仪测量头应为圆形,每次测量前应校准测厚仪的零点,且在每组试样测量后应重新检查其零点。

注:推荐测量头直径为 $5\text{ mm}\sim 10\text{ mm}$ 。

6.1.2 将测厚仪的测量头平缓放下,避免样品变形和破损,进行测试。

6.1.3 测厚仪的测量头与样品之间保持一定的压强,施加压强为 25 kPa ,记录厚度值。

6.1.4 样品尺寸不小于 100 cm^2 ,且每个 25 cm^2 样品不少于 9 个测试点,且测试点应均匀分布。

6.1.5 数据处理。

6.1.5.1 平均厚度按公式(1)计算:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

\bar{d} ——一定压力下,样品的平均厚度,单位为微米(μm);

d_i ——一定压力下,样品某一点的厚度测量值,单位为微米(μm);

n ——测量的数据点数。

6.1.5.2 每个样品的厚度标准偏差按照公式(2)计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

σ ——一定压力下,样品的厚度标准偏差,单位为微米(μm);

\bar{d} ——一定压力下,样品的平均厚度,单位为微米(μm);

d_i ——一定压力下,样品某一点的厚度测量值,单位为微米(μm);

n ——测试数据点数。

6.1.5.3 厚度离散系数按公式(3)进行计算:

$$\delta = \frac{\sigma}{\bar{d}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

δ ——离散系数,反映单位均值上的离散程度;

σ ——一定压力下,样品的厚度标准偏差,单位为微米(μm);

\bar{d} ——一定压力下,样品的平均厚度,单位为微米(μm)。

6.2 拉伸强度

6.2.1 按 GB/T 1040.3 中的规定,将试样分成纵向和横向(没有方向的样品任意取一种方向)等间隔裁取一定尺寸(70mm×10mm)的长条形试样。

6.2.2 采用长度测量仪测量每个试样的宽度 W_{sp} 。

6.2.3 按照 6.1 中的方法测量样品的平均厚度 \bar{d} 。

6.2.4 将试样置于试验机的两夹具中(如图 3 所示)。试验机上、下夹具的中心线应与试样受力的方向平行,且在受力过程中保持试样在同一平面。测试过程中,试样不应在夹具内滑动,试验夹具也不应引起试样在夹具处断裂。夹具内应衬橡胶之类的弹性材料。

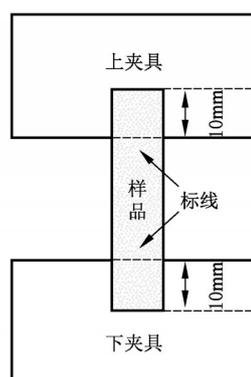


图 3 拉伸试样示意图

6.2.5 在试验机上进行拉伸强度试验。拉伸速度应在 10 mm/min~100 mm/min 范围内。

6.2.6 样品断裂后,读取相应的负荷值。若试样在标线±5 mm 内某处断裂时,表示试样夹持不正,该结果应弃去不计。

6.2.7 样品按每个试验方向为一组,每组样品数应满足 5 次有效试验的要求。

6.2.8 数据处理:根据读取的断裂最大负荷及相应的样品宽度,按公式(4)计算样品的拉伸强度。

$$T_s = \frac{F_b}{W_{cp} \times \bar{d}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- T_s ——样品的拉伸强度,单位为兆帕(MPa);
- F_b ——样品断裂时记录的载荷,单位为牛顿(N);
- W_{cp} ——样品的宽度,单位为毫米(mm);
- \bar{d} ——在一定压强下,样品的平均厚度,单位为毫米(mm)。

每批样品取 5 个试样为一组,计算出平均值作为试验结果。

6.3 电阻率

6.3.1 平面方向电阻率测试

- 6.3.1.1 利用长度测量仪测量样品的长度和宽度。
- 6.3.1.2 按照 6.1 中的方法测量样品的平均厚度。
- 6.3.1.3 测量前先校准四探针电阻率测试仪的零点。
- 6.3.1.4 将样品放置在仪器的测量台上,将测试仪的测量头轻轻放下,使探针接触到样品表面。
- 6.3.1.5 分别在样品靠近边缘和中心的至少 5 个不同部位进行测量,并记录测量值。根据样品的形状及厚度,查取相应的校正系数,计算出电阻平面方向的电阻率。
- 6.3.1.6 数据处理:按公式(5)计算平面方向的电阻率。

$$\rho_{in} = \frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i \times G \times D)}{n} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- ρ_{in} ——样品平面方向的电阻率,单位为毫欧厘米($m\Omega \cdot cm$);
- ρ_i ——不同部位电阻率测量值,单位为毫欧厘米($m\Omega \cdot cm$);
- G ——样品厚度校正系数;
- D ——样品形状校正系数;
- n ——测试的数据点数。

注: G 和 D 的取值一般能从仪器使用说明附表中查到。

6.3.2 垂直方向电阻率测试

- 6.3.2.1 将样品装在所测试装置中的两个测量电极之间。测量电极为金电极或镀金的铜电极。
- 6.3.2.2 压强从 0.05 MPa 开始,每步增加 0.05 MPa,直到压力达到 3 MPa,用低电阻测试仪测量两电极之间的电阻值。在不同压强下,样品的平均厚度记录为 d_i ,不同压强下的电阻值记录为 R_m 。

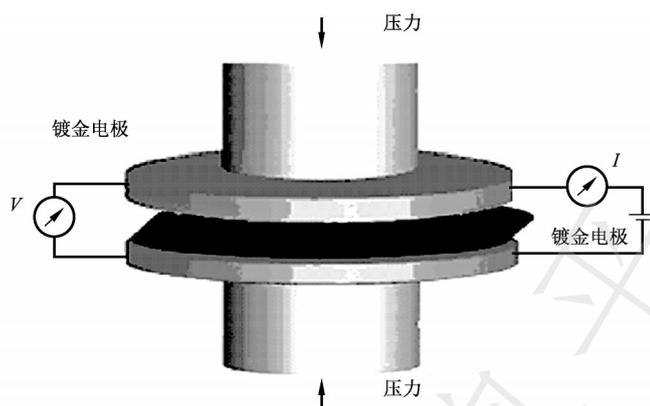


图4 垂直电阻率测试示意图

6.3.2.3 数据处理:按照公式(6)计算面电阻。

$$r_c = R_m S - R_c \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

r_c ——样品垂直方向的面电阻,单位为毫欧平方厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$);

R_m ——仪器的测量值,即样品垂直方向电阻、铜电极本体电阻和两个样品与电极间的接触电阻的总和,单位为毫欧($\text{m}\Omega$);

S ——样品与两个电极之间的接触面积,单位为平方厘米(cm^2);

R_c ——两个铜电极本体电阻、样品与两个电极间的接触电阻总和,单位为毫欧平方厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$)。

注: R_c 值参照GB/T 20042.7中所述方法进行计算。本试验采用金电极或镀金铜块, R_c 数值较小,也能忽略。

取3个样品为一组,计算平均值作为试验结果。

按公式(7)计算垂直方向的电阻率:

$$\rho_t = \frac{r_c}{\bar{d}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

ρ_t ——样品垂直方向的电阻率,单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$);

r_c ——样品垂直方向的面电阻,单位为毫欧平方厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$);

\bar{d} ——在一定压强下,样品的平均厚度,单位为厘米(cm)。

取3个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

6.4 压缩特性

6.4.1 按6.1的方法测量样品的厚度,记为初始厚度 d_0 。

6.4.2 截取与试验机的平板夹具截面尺寸相同的送试材料作为样品。

6.4.3 将样品装在两块光滑的平板夹具之间。压强从0.05 MPa开始,每步增加0.05 MPa~2 MPa,测量记录样品的厚度。在不同压强下,样品的厚度记录为 \bar{d} 。

6.4.4 数据处理:按公式(8)计算样品的压缩率。

$$\gamma = \frac{d_0 - \bar{d}_i}{d_0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

γ ——一定压强下的压缩率;

d_0 ——样品的初始厚度,默认压强为25 kPa时的厚度,单位为毫米(mm);

\bar{d} ——一定压强下,样品的平均厚度,单位为毫米(mm)。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

6.5 透气性能

6.5.1 垂直方向透气性能

6.5.1.1 依据 6.1 方法测量样品的平均厚度 \bar{d} 。

6.5.1.2 将样品放置在两片相同大小的中空边框之间,边框的中间孔尺寸为 $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$,在一定温度、压力下压制成边缘不漏气的样品/边框组件。组件压制过程,保证样品有效部分不变形、破损。将样品置于下模头上,上模头通过下压压持样品。

6.5.1.3 将压好的样品/边框组件装入两侧带有进气、出气口的平板夹具之间,使两侧形成气室,测试气密性。两个平板夹具均应具有密封元件。

6.5.1.4 将没有外漏的测试池,按照图 4 所示的试验装置示意图安装在试验装置上。

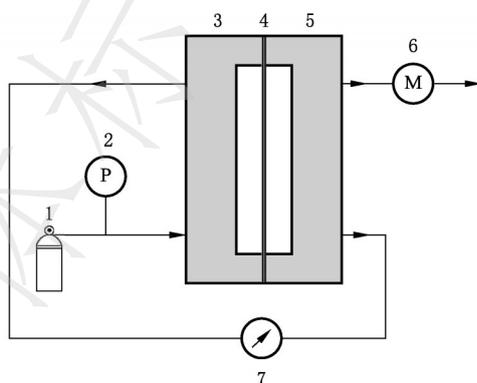
注:外漏的检测参照 GB/T 20042.5 进行。

6.5.1.5 调节微量调节阀,用微量压差计控制一定的压差,在室温和一定的压力差下稳定至少 5 min,根据流量计示数,计算流速 V_s 、微量压差计示数 P_s 。

注:推荐压差为 5 Pa~50 Pa。

6.5.1.6 将与 6.5.1.3 中相同大小的中空边框压制成测试组件,压制条件同 6.5.1.3。

6.5.1.7 按照 6.5.1.4 中方法组装后进行测试。在与 6.5.1.5 相同的流速 V_s 下,读取空白样品微量压差计的示数力 P_0 ,对测试结果进行校正。



标引序号说明:

- 1——气源;
- 2——微量调节阀;
- 3——夹具;
- 4——样品;
- 5——夹具;
- 6——流量计;
- 7——微压差计。

注:测试池由两块具有气体进口和出口及凹槽的不锈钢板夹具组成,样品放置在两夹具中间,两侧形成气室。气体进入测试池在样品的两侧流动,从而维持样品两侧保持一定的压力差。进气流量主要通过微量调节阀控制,两侧的压力差主要通过微压差计控制,气体的流量由气体流量计测量,可以为质量流量计、皂泡流量计或皮膜流量计。

图 5 垂直方向透气系数测试示意图

6.5.1.8 数据处理:按照公式(9)计算样品的透气率。

$$V_{pe} = \frac{60 \times V_s \times \bar{d}}{16 \times (p_s - p_0)} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

V_{pe} ——样品的透气率,单位为毫升毫米每平方厘米小时毫米汞柱[mL·mm/(cm²·h·Pa)];

V_s ——在压差($p_s - p_0$)下气体通过样品的体积流速,单位为毫升每分(mL/min);

\bar{d} ——一定压强下,样品的平均厚度,单位为毫米(mm);

p_s ——测试样品时,微量压差计示数,单位为帕(Pa);

p_0 ——空白样品的微量压差计示数,单位为帕斯卡(Pa)。

取3个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

6.5.2 平面方向透气性能

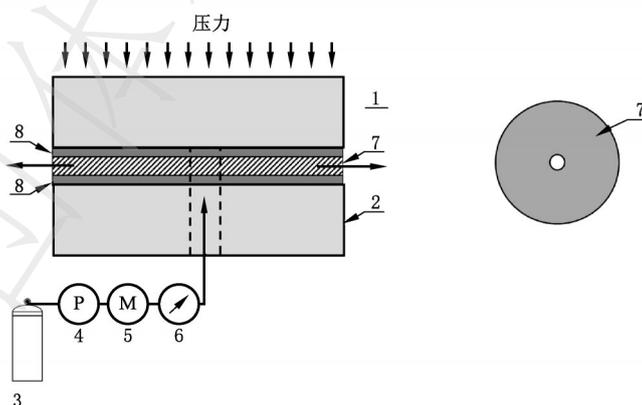
6.5.2.1 将样品裁切为直径40 mm~60 mm的圆片,样品中心裁切一个直径为5 mm的圆孔,在样品的上下表面各放置一个相同形状的PTFE垫片,防止炭纸与模头接触不紧密造成漏气,垫片厚度为20 μm~50 μm。

6.5.2.2 将样品置于下夹具上,样品中心孔与下夹具中心孔保持同心,上夹具施加压力下压样品。IP方向透气率测试示意如图6所示。

6.5.2.3 从下夹具的中心孔向样品中心的圆孔中通入空气,同时按照6.3.2.3的方法通过上夹具均匀地施加压力,在施加压力15s后,记录在不同压力下的样品平均厚度 \bar{d} ,微量压差计的压力示数 P_i 。

注:推荐流量为50 ml/min~100ml/min。

6.5.2.4 按照6.4.2.1和6.4.2.2的方法,不下压上夹具,设置同样的气体流量,记录空白样品情况下的微量压差计示数 P_0 。



标引序号说明:

- 1——上夹具;
- 2——下夹具;
- 3——气瓶;
- 4——微量调节阀;
- 5——流量计;
- 6——微压差计;
- 7——样品;
- 8——垫片。

注:测试池由上下两块不锈钢夹板及密封PTFE垫片组成,样品放置在两夹具中间。通过对夹具施加压力,使样品

压缩,厚度发生变化。气体从样品中心气室进入,通过样品的中心圆孔在平面内沿四周向大气扩散,从而使进气端与出气端的形成一定的压差。进气流量主要通过微量调节阀控制,两侧的压力差主要通过微压差计控制,气体的流量由气体流量计测量,可以为质量流量计、皂泡流量计或皮膜流量计。

图6 平面方向透气系数测试示意图

6.5.2.5 数据处理:IP 方向透气系数计算参照公式(10)。

$$k = \frac{\mu Q \bar{d}}{A(P_i - P_0)} \dots\dots\dots(10)$$

式中:

k ——样品的透气系数,单位为平方米(m^2);

μ ——样品测试时所使用气体在测试温度下的粘度,单位为帕斯卡秒(Pa·s);

Q ——样品测试时在压差 ΔP 下的气体体积流速,单位为立方米每秒(m^3/s);

\bar{d} ——一定压强下,样品的平均厚度,单位为米(m);

A ——样品的测试面积,单位为平方米(m^2);

P_i ——样品测试过程中,进气侧与出气侧的压力差,单位为帕斯卡(Pa)。

P_0 ——样品测试过程中,空白样品的进出气压力差,单位为帕斯卡(Pa)。

取 3 个有效样品为一组,计算平均值。

6.6 孔隙率

6.6.1 根据测试设备的要求,将样品裁切成规定的尺寸,面积不小于 1 cm^2 。

6.6.2 多片测试时,片与片之间应进行分隔,以防止片与片接触形成孔隙区影响测量结果。

6.6.3 按照 GB/T 21650.1 的要求,应用压汞法进行孔隙率的测定。

6.6.4 至少测试 3 个试样得到 3 组有效数据,并计算平均值。

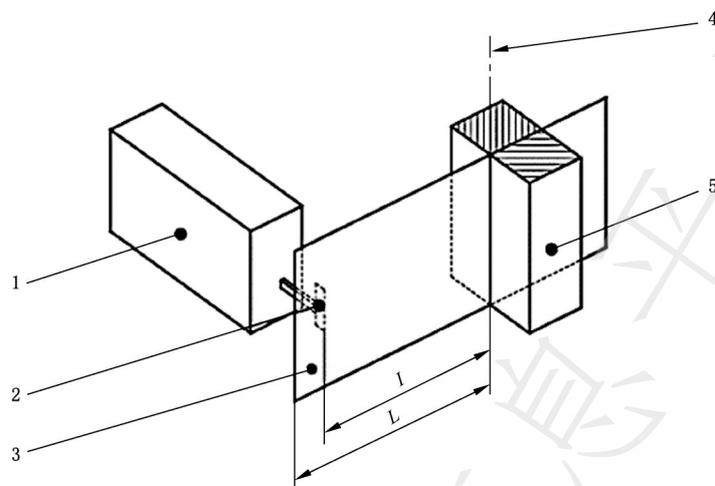
6.7 弯曲挺度

6.7.1 测试方法参考 GB/T 22364。在产品的横向和纵向各切取至少 5 片试样,试样宽度为 $(38.0 \pm 0.2) \text{ mm}$,长度至少 80 mm (弯曲长度为 50 mm)。如使用较短的弯曲长度,试样长度应至少为 40 mm (弯曲长度为 10 mm)。

6.7.2 在 $(50.0 \pm 0.1) \text{ mm}$ 弯曲长度下进行试验。对弯曲挺度太低以至于在此弯曲长度下无法测定的试样,可使用 $(10.0 \pm 0.1) \text{ mm}$ 的弯曲长度。这种情况下,应在试验报告中注明所使用的弯曲长度。

注:使用不同弯曲长度得到的结果不能相互换算。

6.7.3 将试样放入夹头,确保试样对齐并以规定的自由长度伸出夹头。弯曲长度为 50 mm 时,自由长度(L)为 $(57 \pm 3) \text{ mm}$;弯曲长度为 10 mm 时,自由长度(L)为 $(17 \pm 3) \text{ mm}$ 。不应用裸手接触试样靠近夹头部位的区域,这一区域水分含量的变化会影响到试验结果。



标引序号说明：

- 1——弯曲力测量装置；
- 2——刀口；
- 3——试样；
- 4——旋转轴；
- 5——夹头；
- 6——弯曲长度；
- 7——自由长度。

图7 弯曲刚度测试示意图

6.7.4 夹持压力应足以保证牢固地夹持住试样,并确保所测得的弯曲力不受夹持压力的影响。

注: 过高的夹持压力可能导致弯曲力值降低。

6.7.5 将仪器的弯曲角度设定为 15° 。测试前不应以任何方式弯曲试样,对任何试样的测试不应超过一次。为获得准确的弯曲角度,试验前应确保刀口线与试样表面接触但不对试样施加任何力。

6.7.6 如果最大弯曲力在试样弯曲到 15° 前出现,或在测试过程中出现断裂、扭结或褶皱,应舍弃试验结果。如果超过 10% 的试样出现这种情况,应使用 7.5° 的弯曲角度,并应在试验报告中注明所使用的弯曲角度。

注: 使用 7.5° 弯曲角度得到的试验结果,不能通过乘以 2 换算为 15° 弯曲角度的结果,因为其与弯曲角度的关系为非线性的。

6.7.7 测定时试样正反面弯曲试验的数目应相同。试样从仪器夹头上取下后不应再次使用。

6.7.8 数据处理:按照公式(11)计算平均弯曲刚度。

$$B = \frac{F \times L^3}{3 \times d_r \times b} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

B ——弯曲刚度,单位为毫牛米($\text{mN}\cdot\text{m}$);

F ——通过移动弯曲测试头向试样施加的作用力,单位为牛顿(N);

L ——弯曲长度,即试样夹顶端与弯曲测头间的距离,单位为毫米(mm);

d_r ——试样的挠度,即弯曲测头的位移,单位为毫米(mm);

b ——试样的宽度,单位为毫米(mm)。

对每个测试方向,在规定的弯曲角度下,应至少测试 5 个试样并得到 5 组有效数据,并计算平均值。

6.8 粗糙度

- 6.8.1 按照 5.1 所述准备样品。
- 6.8.2 将样品放置于表面粗糙度轮廓仪的测试台上。
- 6.8.3 通过粗糙度的等级确定取样长度和行程长度,选取轮廓中线。
- 6.8.4 在一定取样长度 L 内,测试表面轮廓曲线,读取曲线上各点到轮廓中线的距离 Y 。
- 6.8.5 在评定长度范围内,测出 m 个取样长度 L 的粗糙度轮廓曲线,计算表面粗糙度。
- 6.8.6 按公式(12)进行轮廓算术平均偏差算术平均值计算:

$$Ra = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^n |Y_i| \dots\dots\dots(12)$$

式中:

- Ra ——轮廓算术平均偏差,单位为微米(μm);
- $|Y_i|$ ——轮廓上各点到轮廓中线纵坐标绝对值,单位为微米(μm);
- n_s ——轮廓曲线上选取的数据点;

注: Ra 一般可以在仪器上直接读取。

- 6.8.7 按公式(13)进行平均轮廓算术平均偏差计算:

$$\overline{Ra} = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^m Ra \dots\dots\dots(13)$$

式中:

- \overline{Ra} ——平均轮廓算术平均偏差,单位为微米(μm);
- Ra ——第 i 个取样长度内的轮廓算术平均偏差,单位为微米(μm);
- n_s ——选取的取样长度的个数。

6.9 静态接触角

- 6.9.1 按照 5.1 所述准备样品,试验的环境状态按照 GB/T 30693—2014 中 8.1、8.2 所述要求进行调节。
- 6.9.2 将注射针管采用抽吸的方式装满液体,若针头处存在气泡,需要将气泡挤出,然后将注射针管安装在注射系统装置上。
- 6.9.3 调整试验台,使其处于水平位置。
- 6.9.4 将试样的测试面朝上安装在夹持架上,确保试样放置平整,不产生扭曲或弯曲。然后将试样夹持架放置在仪器试验台上。
- 6.9.5 调整试验台高度,使注射针的针头与试样表面之间达到规定距离,推荐该距离为 10 mm。
- 6.9.6 通过注射系统,将液滴体积设定在 $3 \mu\text{L} \sim 5 \mu\text{L}$,试验液体采用符合 GB/T 6682 中三级水规定的蒸馏水或者去离子水。
- 6.9.7 注射系统挤出液滴并滴落在试样表面上,通常情况下,在水滴转移后 $(20 \pm 10)\text{s}$ 内进行接触角的测量。若另有规定,则按仪器说明中有关水滴转移和测量的最大有效时间来进行测量。
- 6.9.8 通过固-液-气三相交界点作气-液间沿着液体方向的切线和固-液界面间的交界线;或者通过软件提示操作,采用外形图像分析法测量出左、右接触角。
- 6.9.9 应至少测试 5 个试样并得到 5 组有效数据,并计算平均值。

6.10 导热系数

- 6.10.1 利用长度测量仪测试待测样品的尺寸,计算样品的面积 A 。
- 6.10.2 用长度测量仪和测厚仪测量仪器散热盘的直径和厚度。

6.10.3 将样品放置在导热系数测试仪中,导热系数测试应在封闭的环境中进行测试,测试环境温度应维持在 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度 $50\%\pm 5\%$,防止环境条件产生干扰。样品的表面应与仪器的散热盘紧密接触。

6.10.4 将 n 个样品重叠后,放置在导热系数测试仪中。样品的表面应与仪器的散热盘紧密接触。

注:样品的个数 n 应由仪器要求确定。

6.10.5 操作仪器,对夹具施加 1 MPa 压力,测量样品平均厚度 d_i ,设置上下夹具的加热温度,在样品垂直方向形成温度的梯度分布。

6.10.6 测量加热板和散热板的温度 T_2 、 T_1 和热量与时间等参数。

6.10.7 数据处理:按公式(14)计算导热系数。

$$\lambda = \frac{Qn\bar{d}}{(T_2 - T_1)tA \times 10^6} \dots\dots\dots(14)$$

式中:

- λ ——导热系数,单位为瓦每米开尔文 [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$];
- Q ——传导的热量,单位为焦(J);
- \bar{d} ——一定压强下,样品的平均厚度,单位为微米(μm);
- n ——样品的个数;

注1: n 由仪器对样品的厚度的要求决定。

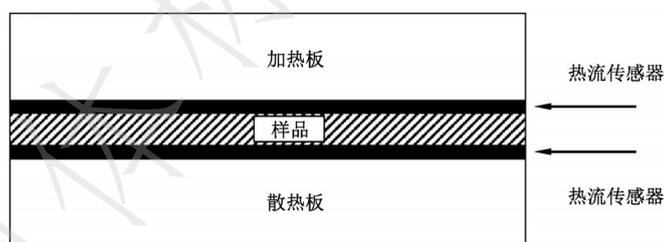
$T_2 - T_1$ ——样品上下表面的稳定温度差,单位为开尔文(K);

t ——传导热量的时间,单位为秒(s);

A ——样品的测试面积,单位为平方米(m^2)。

取3个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

注2:部分仪器能直接读出导热系数。



注:导热系数采用导热系数仪进行测试,一般包括两个等温板装置、一个或多个热流传感器和必要的环境条件控制设备组成,包括冷热等温面、热流传感器、试样厚度测试仪和可控环境。

图8 带两个热流传感器和一个试样的装置

7 检验规则

7.1 出厂检验

产品出厂时,应进行出厂检验。出厂检验项目应包括:厚度均匀性、机械强度、电阻率、透气性能、压缩特性、弯曲挺度、粗糙度、导热系数。

7.2 型式检验

有下列情况之一时,应进行型式检验:

- a) 新产品投产时;

- b) 原材料或生产工艺有较大的改变时;
 - c) 停产时间超过三个月,恢复生产时;
 - d) 正常生产时,每年至少进行一次,出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时;
 - e) 供需双方合同有要求时;
 - f) 国家质量监督机构提出型式检验要求时。
- 型式检验应对本文件中规定的全部技术要求进行检验。

8 标识、包装、运输、储存

8.1 标识

- 8.1.1 对于卷材产品,标签粘贴在卷芯料筒内,对于片材产品,粘贴在包装箱外侧,标签信息包括不限于产品型号、产品数量、生产日期、生产批号、公司名称等。
- 8.1.2 片材产品需标记 TD 和 MD 方向。
- 8.1.3 点状缺陷标识:需使用白色记号笔划横线。
- 8.1.4 连续性缺陷标识:使用白色记号笔在缺陷开始位置划横线至缺陷结束位置。

8.2 包装

- 8.2.1 对于卷材,每卷产品有效长度不小于 300 m,片材依据双方协定的要求进行。
- 8.2.2 卷材产品,卷绕在圆柱形料筒上,卷芯尺寸为 6in(15.24 cm)或经双方协定的其他尺寸,片材产品则依据双方的协定要求进行。
- 8.2.3 使用塑料薄膜或隔纸对炭纸进行保护,隔膜的具体尺寸要求及材质由双方进行协定。
- 8.2.4 对于卷材产品,产品头部和尾部应带有引线,头部引线不小于 1 m,尾部引线不小于 2 m。

8.3 运输

- 8.3.1 运输时需将卷芯料筒插在轴心托盘上进行固定,并使用塑料膜对卷芯料筒和托盘进行封装固定,防止运输过程中料筒从托盘上脱离和发生震动。
- 8.3.2 包装好的材料放入纸箱中进行运输,纸箱大小应与包装好的材料轮廓大小一致,避免运输过程中震动。
- 8.3.3 运输过程中外包装上应标注好防潮、易碎标签。

8.4 储存

- 8.4.1 存放湿度 $50\% \pm 20\%$ 。
- 8.4.2 远离水源,避免雨水侵蚀。
- 8.4.3 水平放置,不可压叠重物。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20042.5 质子交换膜燃料电池 第5部分:膜电极测试方法
 - [2] GB/T 20042.7 质子交换膜燃料电池 第7部分:炭纸特性测试方法
 - [3] GB/T 22364 纸和纸板 弯曲挺度的测定
-

全国团体标准信息平台