

中华人民共和国国家标准

GB/T 20042.7—2014

质子交换膜燃料电池 第 7 部分：炭纸特性测试方法

Proton exchange membrane fuel cells—
Part 7: Test method of carbon paper properties

2014-12-05 发布

2015-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

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

4 测试准备 4

5 测试仪器和器具 5

6 厚度均匀性测试 5

7 电阻测试 6

8 机械强度测试 7

9 透气率测试 9

10 孔隙率测试 11

11 表观密度测试 11

12 面密度测试 12

13 粗糙度测量 12

14 测试报告 13

附录 A（资料性附录） 测试准备 14

附录 B（资料性附录） 试验报告 15

附录 C（资料性附录） 导热系数测试 17

附录 D（资料性附录） 两个铜电极本体电阻、炭纸与电极间接接触电阻总和测试 20

参考文献 21

前 言

GB/T 20042《质子交换膜燃料电池》分以下部分：

- 第1部分：术语；
- 第2部分：电池堆通用技术条件；
- 第3部分：质子交换膜测试方法；
- 第4部分：电催化剂测试方法；
- 第5部分：膜电极测试方法；
- 第6部分：双极板特性测试方法；
- 第7部分：炭纸特性测试方法。

本部分为 GB/T 20042 的第 7 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国燃料电池及液流电池标准化技术委员会(SAC/TC 342)归口。

本部分负责起草单位：中国科学院大连化学物理研究所、机械工业北京电工技术经济研究所、新源动力股份有限公司、武汉邮电科学研究院、清华大学、武汉理工新能源有限公司、武汉理工大学、宁波拜特测控技术有限公司、南京大学昆山创新研究院、同济大学。

本部分主要起草人：钟和香、陈晨、张华民、侯中军、齐志刚、邱艳玲、李霞、裴普成、宛朝晖、李赏、黄平、顾军、侯永平、王美日、衣宝廉。

质子交换膜燃料电池

第7部分：炭纸特性测试方法

1 范围

GB/T 20042 的本部分给出了质子交换膜燃料电池炭纸特性测试方法的术语和定义、厚度均匀性测试、电阻测试、机械强度测试、透气率测试、孔隙率测试、表观密度测试、面密度测试、粗糙度测试和测试报告。

本部分适用于质子交换膜燃料电池用各种类型的炭纸。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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—2006 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 13465.2—2002 不透性石墨材料抗弯强度试验方法

GB/T 20042.1—2005 质子交换膜燃料电池 术语

GB/T 28816—2012 燃料电池 术语

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

GB/T 20042.1—2005 及 GB/T 28816—2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

垂直方向电阻率 **through-plane resistivity**

炭纸厚度方向的电阻率，单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$)。

3.1.2

平面方向电阻率 **in-plane resistivity**

炭纸平面方向的电阻率，单位为毫欧厘米($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$)。

3.1.3

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，单位为毫升毫米每平方厘米小时毫米汞柱 $[\text{mL} \cdot \text{mm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})]$ 。

3.1.4

孔隙率 **porosity**

炭纸孔隙体积占其总体积的百分率。

3.1.5

面密度 **area density**

炭纸质量与表观面积的比值，单位为克每平方厘米(g/cm^2)。



注：炭纸的表观面积为其表观长度与宽度的积。

3.1.6

表观密度 bulk density

炭纸质量与表观体积的比值,单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

注：炭纸的表观体积为其平均厚度与表观面积的乘积。

3.1.7

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,单位为微米(μm)。

注：轮廓的中线(见图 1 的 X)包括轮廓的算术平均中线和轮廓的最小二乘中线两种。轮廓的算术平均中线是在取样长度范围内,将实际轮廓划分上、下两部分,且使上下面积相等的直线。轮廓的最小二乘中线是在取样长度内,使轮廓上各点至一条该线的距离平方和为最小。

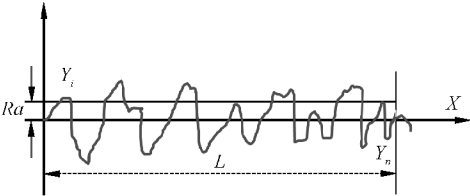


图 1 轮廓的中线及 Ra 示意图

3.1.8

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,单位为瓦每米开 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 。

注：导热系数的测试见附录 C。

3.2 符号

本部分中使用的符号、定义与单位见表 1。

表 1 符号、定义与单位

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	cm
W_{cp}	样品的宽度	mm
厚度均匀性		
$\bar{d}$	在一定压强下的样品平均厚度	mm
d_i	在一定压强下,某一点样品的厚度测量值	mm
σ	在一定压强下,样品的厚度标准偏差	mm
δ	离散系数,反映单位均值上的离散程度	

表 1 (续)

符号	定义	单位
电阻		
ρ_{in}	样品平面方向的电阻率	$m\Omega \cdot cm$
ρ_i	不同部位电阻率测量值	$m\Omega \cdot cm$
G	样品厚度校正系数	
D	样品形状校正系数	
ρ_t	样品垂直方向的电阻率	$m\Omega \cdot cm$
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	$m\Omega$
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	$m\Omega \cdot cm^2$
S	样品与两个电极之间的接触面积	cm^2
机械强度		
T_s	样品的拉伸强度	MPa
F_b	样品断开时记录的负荷	N
T_b	抗弯强度	MPa
F	弯曲断裂负荷值	N
L	支座跨距	mm
γ	一定压力下样品的压缩率	%
d_{pi}	一定压力下的厚度	mm
d_0	样品的初始厚度,即压力接近零时的厚度	mm
透气率		
V_{pe}	样品的透气率	$mL \cdot mm / (cm^2 \cdot h \cdot mmHg)$
V_s	在压差 $p_s - p_0$ 下气体通过样品的体积流速	mL/min
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
孔隙率		
ϵ	样品的孔隙率	%
ρ_{CF}	碳纤维的密度	g/cm^3
密度		
ρ_0	密度	g/cm^3
ρ_s	面密度	g/cm^2
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

表 1 (续)

符号	定义	单位
n_s	轮廓曲线上选取的数据点	
$\overline{Ra}$	平均轮廓算术平均偏差	μm
n_a	选取的取样长度的个数	
Rz	轮廓的最大高度,即最大轮廓峰高和最大轮廓谷深之和	μm
Rp	最大轮廓峰高,轮廓最高点到中线的距离最大值	μm
Rv	最大轮廓谷深,轮廓最低点到中线的距离最大值	μm
$\overline{Rz}$	平均轮廓的最大高度	μm
导热系数		
λ	导热系数	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Q	传导的热量	J
$T_1 - T_2$	样品上下表面的稳定温度差	K
t	传导热量的时间	s
A	样品的面积	m^2
R_{m1}	厚度为 $\bar{d}_1$ 时,仪器的电阻测量值,即样品垂直方向电阻和两个样品与电极间的接触电阻及两个镀金电极电阻的总和	$\text{m}\Omega$
$\bar{d}_1$	样品 1 的平均厚度	cm
R_{m2}	厚度为 $\bar{d}_2$ 时,仪器的电阻测量值,即样品垂直方向电阻和两个样品与电极间的接触电阻及两个镀金电极电阻的总和	$\text{m}\Omega$
$\bar{d}_2$	样品 2 的平均厚度	cm

4 测试准备

4.1 样品准备

- 4.1.1 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。
- 4.1.2 样品应无褶皱、划痕和破损。
- 4.1.3 每一项测试至少测试 3 次(确保得到 3 个有效值)。
- 4.1.4 样品从可重复的同一批次或不同批次中抽取。
- 4.1.5 将样品置于丙酮溶液中浸泡 0.5 h,除去其表面及内部的油分和灰分,随后将其置于烘箱中于 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 干燥至少 2 h。

4.2 测试准备

- 4.2.1 对于每项试验来说,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。
- 4.2.2 试验开始前,应由测试方和材料制造商协商试验条件。如果没有规定,应参照附录 A 或附录 B 中的试验确定条件和内容进行测试和记录。
- 4.2.3 如无特殊说明,测试环境分别为:温度为 $5\text{ }^\circ\text{C} \sim 40\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度为 $10\% \sim 90\%$ 。

5 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 $\pm 2\ \mu\text{m}$ ；
 - 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 $\pm 0.5\%$ ；
 - 密度计：用于测试样品的密度，精度为 $\pm 0.002\ \text{g}/\text{cm}^3$ 。
 - 表面粗糙度轮廓仪，精度为 $\pm 0.1\ \mu\text{m}$ ；
 - 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 $\pm 1\%$ 。

6 厚度均匀性测试

6.1 测试方法

- 6.1.1 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。
- 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，记录厚度值。
- 注：推荐压强为 $5\ \text{N}/\text{cm}^2$ 。
- 6.1.4 样品尺寸不小于 $100\ \text{cm}^2$ ，且每个 $25\ \text{cm}^2$ 样品不少于 9 个测试点，且测试点应均匀分布。

6.2 数据处理

- 6.2.1 样品的厚度均匀性用厚度最大值与最小值之差、厚度标准偏差和厚度离散系数表示。
- 6.2.2 平均厚度按式(1)计算：

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

.....(1)

式中：

$\bar{d}$ ——在一定压强下的样品平均厚度，单位为毫米(mm)；

d_i ——在一定压强下，某一点样品的厚度测量值，单位为毫米(mm)；

n ——测量数据点数。

- 6.2.3 厚度标准偏差由式(2)表示：

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

.....(2)

式中：

σ ——在一定压强下，样品的厚度标准偏差，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)；

d_i ——在一定压强下,某一点样品的厚度测量值,单位为毫米(mm);

n ——测量数据点数。

6.2.4 厚度离散系数由式(3)表示:

$$\delta = \frac{\sigma}{\bar{d}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

δ ——离散系数,反映单位均值上的离散程度;

σ ——在一定压强下,样品的厚度标准偏差,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)。

取3个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

7 电阻测试

7.1 平面方向电阻率测试



7.1.1 测试方法

7.1.1.1 利用长度测量仪测量样品的长度和宽度。

7.1.1.2 按照第6章方法测量样品的平均厚度 $\bar{d}$ 。

7.1.1.3 测量前先校准四探针电阻率测试仪的零点。

7.1.1.4 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。

7.1.1.5 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。

7.1.1.6 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。

7.1.2 数据处理

按式(4)计算平面方向的电阻率:

$$\rho_{in} = \frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i \times G \times D)}{n} \quad \dots\dots\dots (4)$$

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 的取值可以参照 SJ/T 10314—1992 中所述的方法进行计算,一般也可从仪器使用说明附表中查到。

7.2 垂直方向电阻率测试

7.2.1 测试方法

7.2.1.1 按照第6章方法测量样品的平均厚度 $\bar{d}$ 。

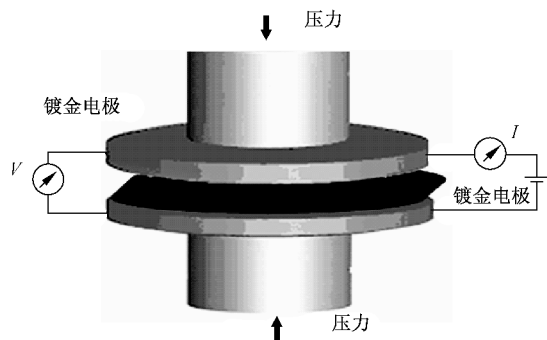
7.2.1.2 将样品装在图2所示测试装置中的两个测量电极之间。测量电极为金电极或镀金的铜电极。

7.2.1.3 压强每增加0.05 MPa,用低电阻测试仪测量两电极之间的电阻值。不同压强下的电阻值记录为 R_m 。

7.2.1.4 直到当前测得的电阻值与前一电阻测试值的变化率不大于5%时,则认为达到电阻的最小值,

停止测试。

注：推荐测量压强范围为 0.05 MPa~4.0 MPa。



注：样品放置在两块电极之间，在电极两侧施加一定的压强，通过记录不同压强下的电流和电压值，得到不同施加压强下的电阻值。电极采用金电极或镀金金属，样品不能伸到电极之外。

图 2 垂直方向电阻测试示意图

7.2.2 数据处理

按式(5)计算垂直方向的电阻率：

$$\rho_t = \frac{R_m S - 2R_c}{\bar{d}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- ρ_t ——样品垂直方向的电阻率,单位为毫欧厘米($m\Omega \cdot cm$)。
- 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($m\Omega$)；
- 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($m\Omega \cdot cm^2$)；

注： R_c 可以用同种材料,不同厚度的炭纸,通过式(D.1)计算得到,见附录 D 所示。本实验采用金电极或镀金铜块, R_c 数值较小,也可以忽略。

$\bar{d}$ ——在一定压强下,样品的平均厚度,单位为厘米(mm)。

取 3 个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

8 机械强度测试

8.1 拉伸强度测试

8.1.1 样品测试

- 8.1.1.1 按 GB/T 1040.3—2006 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(70 mm×10 mm)的长条形试样。
- 8.1.1.2 采用长度测量仪测量每个试样的宽度 W 。
- 8.1.1.3 按照第 6 章方法测量样品的平均厚度 $\bar{d}$ 。
- 8.1.1.4 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,试样不得在夹具内滑动,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。



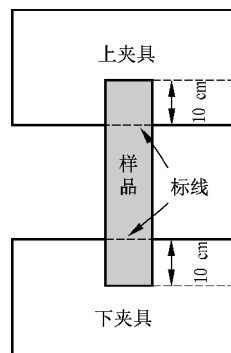


图3 试样在夹具中的位置

- 8.1.1.5 在机械性能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。
- 8.1.1.6 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。
- 8.1.1.7 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。

8.1.2 数据处理

根据读取的断裂最大负荷及相应的样品宽度,按式(6)计算样品的拉伸强度:

$$T_s = \frac{F_b}{W_{cp} \times d} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- T_s ——样品的拉伸强度,单位为兆帕(MPa);
- F_b ——样品断开时记录的负荷,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。

8.2 抗弯强度测试

8.2.1 样品测试

- 8.2.1.1 按测试要求截取一定尺寸的送试材料作为样品。

注:样品的长度应不小于支座跨距。

- 8.2.1.2 依据第 6 章方法测量样品的平均厚度。
- 8.2.1.3 采用长度测量仪测量样品的宽度和长度。
- 8.2.1.4 调整支座跨距,将制备好的样品放在支座上,且使试验机压头、支座轴向垂直于试样,参照 GB/T 13465.2—2002 应用三点弯曲法对样品抗弯强度进行测试。
- 8.2.1.5 试验机压头以 0.01 mm/min~10 mm/min 的加载速度均匀且无冲击地施加负荷,直至试样断裂,读取断裂负荷值。

8.2.2 数据处理

按式(7)计算抗弯强度:

$$T_b = \frac{3F \times L}{2W_{cp} \times \bar{d}^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中：
 T_b ——抗弯强度，单位为兆帕(MPa)；
 F ——弯曲断裂负荷值，单位为牛(N)；
 L ——支座跨距，单位为毫米(mm)；
 W_{cp} ——试样的宽度，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)。
取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

8.3 压缩特性测试

- 8.3.1 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。
- 8.3.2 将样品装在两块光滑的平板夹具之间。测试过程中，在两块夹具的外侧施加压强，压强每增加 0.01 MPa 记录一个夹具位移值和样品的厚度 d_{pi} ，直到测得的位移值与前一压强下的测试位移值的变化率小于或等于 5% 时，则认为达到最小值，停止测试。
- 8.3.3 数据处理

按式(8)计算样品的压缩率：

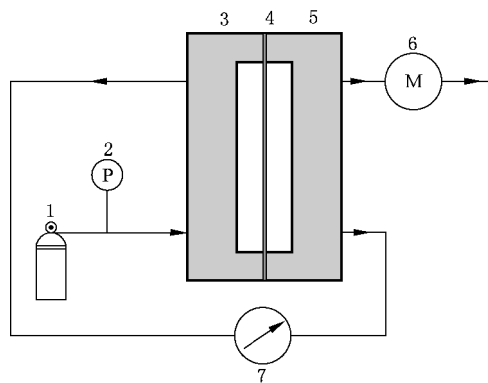
$$\gamma = \frac{d_0 - d_{pi}}{d_0} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中：
 γ ——一定压强下的压缩率，%；
 d_{pi} ——一定压强下的厚度，单位为毫米(mm)；
 d_0 ——样品的初始厚度，即压强接近零时的厚度，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。

9 透气率测试

9.1 测试器具

试验中使用的仪器要求如图 4：



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, 从而可以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 4 测试样品透气率的装置示意图

9.2 测试方法

9.2.1 依据第 6 章方法测量样品的平均厚度 $\bar{d}$ 。

9.2.2 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 cm×4 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。

9.2.3 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。

9.2.4 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—2009 进行。

9.2.5 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。

9.2.6 将与 9.2.3 中相同大小的中空边框压制成测试组件, 压制条件同 9.2.3。

9.2.7 按照 9.2.4 中方法组装后进行测试。在同 9.2.5 相同的流速 V_s 下, 读取空白样品微量压差计的示数 p_0 , 对测试结果进行校正。

9.3 数据处理

用公式(9)计算样品的透气率:

$$V_{pe} = \frac{60V_s \times \bar{d}}{16 \times (p_s - p_0) \times 0.0075} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- V_{pe} ——样品的透气率,单位为毫升毫米每平方米小时毫米汞柱[mL·mm/(cm²·h·mmHg)];
 - 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);
 - $\bar{d}$ ——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(Pa)。
- 取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

10 孔隙率测试

10.1 测试方法

- 10.1.1 按 4.1 准备样品。
- 10.1.2 依据第 6 章方法测量样品的平均厚度 $\bar{d}$,利用长度测量仪测量样品的长度(L_{cp})和宽度(W_{cp}),利用精密电子天平称量样品的质量 M 。
- 10.1.3 将正庚烷和二溴乙烷配成一定体积分数的混合液,注入具塞量筒内。
- 10.1.4 将样品纤维剪碎,并用玛瑙研钵碾压粉碎至长度小于 2 mm,放入具塞量筒内的混合液中,用玻璃棒搅拌,使纤维分散在混合液中,盖上磨口塞,将其放入 25℃±1℃ 的恒温水浴里,具塞量筒的塞及颈部要露出水面。
- 10.1.5 观察混合液,若纤维在混合液内上浮或下沉,则需要相应加入正庚烷或二溴乙烷,以调节混合液密度,直至纤维在混合液内均匀悬浮。
- 10.1.6 将混合液静置 4 h 后,若纤维仍均匀分布于混合液内,用密度计测量该温度下混合液的密度,即为纤维的密度值(ρ_{CF})。

10.2 数据处理

按式(10)计算样品的孔隙率：

$$\epsilon = \left[1 - \frac{M}{\rho_{CF} L_{cp} W_{cp} \bar{d}} \right] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- ϵ ——样品的孔隙率, %;
 - M ——样品的质量,单位为克(g);
 - ρ_{CF} ——碳纤维的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
 - L_{cp} ——样品的长度,单位为厘米(cm);
 - W_{cp} ——样品的宽度,单位为厘米(cm);
 - $\bar{d}$ ——样品的平均厚度,单位为厘米(cm)。
- 取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

11 表观密度测试

11.1 测试方法

- 11.1.1 使用精密电子天平称量样品的质量 M 。
- 11.1.2 根据第 6 章方法测量样品的平均厚度 $\bar{d}$ 。
- 11.1.3 用长度测量仪测量样品的长度(L_{cp})和宽度(W_{cp})。

11.2 数据处理

按式(11)计算样品的密度:

$$\rho_0 = \frac{M}{L_{cp} \times W_{cp} \times \bar{d}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

ρ_0 ——样品的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);

M ——样品的质量,单位为克(g);

L_{cp} ——样品的表观长度,单位为厘米(cm);

W_{cp} ——样品的表观宽度,单位为厘米(cm);

$\bar{d}$ ——样品在一定压强下的平均厚度,单位为厘米(cm)。

取3个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

12 面密度测试

12.1 测试方法

12.1.1 采用长度测量仪测量样品的长度(L_{cp})和宽度(W_{cp})。

12.1.2 用分析天平称量样品的质量 M 。

12.2 数据处理

按式(12)计算样品的面密度:

$$\rho_s = \frac{M}{L_{cp} \times W_{cp}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

ρ_s ——样品面密度,单位为克每平方米(g/cm²);

M ——样品质量,单位为克(g);

L_{cp} ——样品的表观长度,单位为厘米(cm);

W_{cp} ——样品的表观宽度,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。

13 粗糙度测量

13.1 测试方法

13.1.1 按4.1准备样品。

13.1.2 将样品放置于表面粗糙度轮廓仪的测试台上。

13.1.3 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。

13.1.4 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_i 。

13.1.5 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。

13.2 数据处理

13.2.1 轮廓算术平均偏差按式(13)计算:



$$Ra = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^n |Y_i| \quad \dots\dots\dots (13)$$

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。

13.2.2 平均轮廓算术平均偏差按式(14)计算:

$$\overline{Ra} = \frac{1}{n_a} \sum_{i=1}^m Ra \quad \dots\dots\dots (14)$$

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_a ——选取的取样长度的个数。

13.2.3 轮廓的最大高度 Rz 按式(15)计算:

$$Rz = Rp + Rv \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

Rz ——轮廓的最大高度,即最大轮廓峰高和最大轮廓谷深之和,单位为微米(μm);

Rp ——最大轮廓峰高,轮廓最高点到中线的距离最大值,单位为微米(μm);

Rv ——最大轮廓谷深,轮廓最低点到中线的距离最大值,单位为微米(μm)。

注: Rz 值可以直接由仪器读取。

13.2.4 平均轮廓的最大高度按式(16)计算:

$$\overline{Rz} = \frac{1}{n_a} \sum_{i=1}^m Rz \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

$\overline{Rz}$ ——平均轮廓的最大高度,单位为微米(μm);

Rz ——第 i 个取样长度内的轮廓的最大高度,单位为微米(μm);

n_a ——选取的取样长度 L 的个数。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

14 测试报告

根据所做试验,试验报告应提供足够多的、正确的、清晰和客观的数据用来进行分析和参考。报告中应包含各章中所有的数据。报告有三种形式:摘要式、详细式和完整式。每个类型的报告都应包含相同的标题页和内容目录。试验报告可按照附录 B 所提供的格式进行编写。



附 录 A
(资料性附录)
测试准备

A.1 概述

本附录描述在进行测试之前应该考虑的典型项目。对于每项试验来说,应选择高精度的检测仪器及设备,以便将设备误差减到最小。应准备一个书面的测试计划,下列各项应该列入测试计划:

- a) 目的;
- b) 测试规范;
- c) 测试人员资格,测试人员应进行操作培训,并有操作仪器的经验,并应熟知安全操作规程;
- d) 质量保证标准(符合 ISO 9000 和相关标准);
- e) 结果不确定度(符合 IEC/ISO 检测值不确定度的表述指南);
- f) 对测量仪器及设备的要求;
- g) 测试参数范围的估计;
- h) 数据采集计划。

A.2 数据采集和记录

为满足目标误差要求,数据采集系统和数据记录设备应满足采集频次与采集速度的需要,其性能应优于性能试验设备。

附 录 B
(资料性附录)
试验报告

B.1 概述

根据所做试验,试验报告应提供足够多的、正确的、清晰和客观的数据用来进行分析和参考。报告中应包含各章中所有的数据。报告有三种形式:摘要式、详细式和完整式。每个类型的报告都应包含标题页和内容目录。

B.2 报告内容

B.2.1 标题页

标题页应介绍下列各项信息:

- a) 国家标准代号;
- b) 样品名称、材料组成,规格;
- c) 试样状态调节及测试标准环境;
- d) 试验机型号;
- e) 每次测试的结果以及结果的平均值;
- f) 试验日期、人员。

标题页应包括下列内容:

- 报告编号;(可选择)
- 报告的类型;(摘要式、详细式和完整式)
- 报告的作者;
- 试验者;
- 报告日期;
- 试验的场所;
- 试验的名称;
- 试验日期和时间;
- 试验申请单位。

B.2.2 内容目录

每种类型的报告都应提供一个目录。

B.3 报告类型

B.3.1 摘要式报告

摘要式报告应包括下列各项数据:

- 试验的目的;
- 试验的种类,仪器和设备;

- 所有的试验结果；
- 每个试验结果的不确定因素和确定因素；
- 摘要性结论。

B.3.2 详细式报告

详细式报告除包含摘要式报告的内容外,还应包括下列各项数据:

- 试验操作方式和试验流程图；
- 仪器和设备的安排、布置和操作条件的描述；
- 仪器设备校准情况；
- 用图或表的形式说明试验结果；
- 试验结果的讨论分析。

B.3.3 完整式报告

完整式报告除了包含详细内容,还应有原始数据的副本,此外还应包括下列各项:

- 试验进行时间；
- 用于试验的测量设备的精度。

附 录 C
(资料性附录)
导热系数测试

C.1 测试仪器

任何满足条件的导热系数测试仪均可。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 $\pm 0.1\text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$;平面方向导热系数所需仪器测量范围至少为 $5\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim 50\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,精度至少为 $\pm 0.5\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

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、热流传感器和可控环境,如图 C.1 所示。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 $\pm 0.5\%$ 。

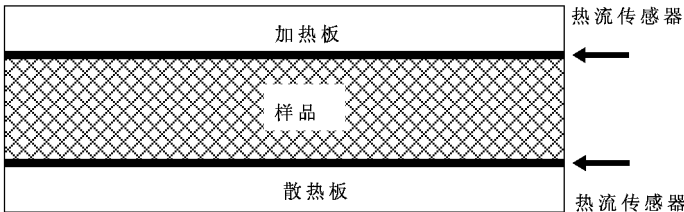


图 C.1 带两个热流传感器和一个试样的装置

C.2 测厚仪和长度测量仪

- 试验中使用的仪器和精度要求为:
- 测厚仪:精度为 $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$,用于测试样品的厚度;
 - 长度测量仪:精度为 $\pm 0.02\text{ mm}$,用于测试样品的长度和宽度。

C.3 样品准备

- C.3.1 将样品置于丙酮溶液中浸泡 0.5 h,除去炭纸表面及内部的油分和灰分,随后将其置于烘箱中于 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥至少 2 h。
- C.3.2 剪裁一定尺寸的炭纸作为样品。样品形状和尺寸应与加热盘和冷却盘的形状和尺寸相同。
- C.3.3 样品数量为 5 个(保证得到 3 个有效值),应无褶皱、划痕和破损。
- C.3.4 样品应由可重复的统一批次或不同批次抽样。
- C.3.5 用绝热材料封闭试样边缘,从而将边缘热损失降低到可接受水平。

C.4 测试方法

C.4.1 垂直方向导热系数

- C.4.1.1 利用长度测量仪测试待测样品的尺寸,计算样品的面积 A。

C.4.1.2 利用测厚仪测量样品的厚度 $\bar{d}$ 。

C.4.1.3 用长度测量仪和测厚仪测量仪器散热盘的直径和厚度。

C.4.1.4 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。

C.4.1.5 操作仪器,在样品厚度方向形成温度的梯度分布。

C.4.1.6 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。

C.4.1.7 数据处理

按式(C.1)计算导热系数:

$$\lambda = \frac{Qn\bar{d}}{(T_2 - T_1)tA} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

λ ——导热系数,单位为瓦每米开尔文 $[W/(m \cdot K)]$;

Q ——传导的热量,单位为焦(J);

$\bar{d}$ ——样品的平均厚度,单位为米(m);

n ——样品的个数,单位为米(m);

注: n 由仪器对样品厚度的要求决定。

$T_2 - T_1$ ——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:部分仪器可直接读出导热系数。

C.4.2 平行方向导热系数

C.4.2.1 利用长度测量仪测试待测样品的尺寸,计算样品的面积 A 。

C.4.2.2 利用测厚仪测量样品的厚度 $\bar{d}$ 。

C.4.2.3 用长度测量仪和测厚仪测量仪器散热盘的直径和厚度。

C.4.2.4 将测试样品放置在导热系数测试仪中,测试仪的散热板应与样品的横截面接触,如图 C.2 所示。

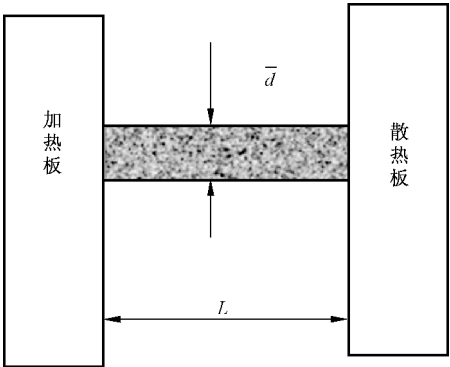


图 C.2 实验器具和样品

C.4.2.5 操作仪器使在平行于样品表面的方向上一段距离 L 内形成温度的梯度分布,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。

C.5 数据处理

按式(C.2)计算导热系数:

$$\lambda = \frac{QL}{(T_2 - T_1)tA}$$

.....(C.2)

式中:

- λ ——导热系数,单位为瓦每米开尔文 [W/(m·K)];
- Q ——传导的热量,单位为焦(J);
- L ——样品的长度,单位为米(m);
- $T_2 - T_1$ ——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 ——样品的与仪器接触面的面积,单位为平方米(m²)。

取 3 个有效样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

注: 部分仪器可直接读出导热系数。

附 录 D
(资料性附录)

两个铜电极本体电阻、炭纸与电极间接触电阻总和测试

两个铜电极本体电阻、样品与两个电极间的接触电阻总和可以按照式(D.1)计算:

$$R_c = \frac{(R_{m1}\bar{d}_2 - R_{m2}\bar{d}_1)S}{2(\bar{d}_2 - \bar{d}_1)} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

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($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$);

R_{m1} ——厚度为 $\bar{d}_1$ 时,仪器的电阻测量值,即样品垂直方向电阻、两个铜电极本体电阻和样品与两个电极间的接触电阻的总和,单位为毫欧($\text{m}\Omega$);

$\bar{d}_1$ ——样品1的平均厚度,单位为厘米(cm);

R_{m2} ——厚度为 $\bar{d}_2$ 时,仪器的电阻测量值,即样品垂直方向电阻、两个铜电极本体电阻和样品与两个电极间的接触电阻的总和,单位为毫欧($\text{m}\Omega$);

$\bar{d}_2$ ——样品2的平均厚度,单位为厘米(cm);

S ——样品与两个电极之间的接触面积,单位为平方厘米(cm^2)。

注:至少取4个不同厚度的样品进行测试。

参 考 文 献

- [1] GB/T 131—2006 产品几何技术规范(GPS) 技术产品文件中表面结构的表示法
 - [2] GB/T 1038—2000 塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法
 - [3] GB/T 3505—2000 产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数
 - [4] GB/T 20042.5—2009 质子交换膜燃料电池 第5部分:膜电极测试方法
 - [5] SJ/T 10314—1992 直流四探针电阻率测试仪通用技术条件
-

