



中华人民共和国国家标准

GB/T 20042.3—2022

代替 GB/T 20042.3—2009

质子交换膜燃料电池 第 3 部分：质子交换膜测试方法

Proton exchange membrane fuel cell—
Part 3: Test method for proton exchange membrane

2022-03-09 发布

2022-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 厚度均匀性测试 2

 4.1 测试仪器 2

 4.2 样品制备与状态调节 3

 4.3 测试方法 3

 4.4 数据处理 3

5 质子传导率测试 4

 5.1 测试仪器 4

 5.2 样品制备与状态调节 5

 5.3 测试方法 5

 5.4 数据处理 6

6 离子交换当量(EW)测试 6

 6.1 仪器与设备 6

 6.2 样品准备 6

 6.3 测试方法 6

 6.4 数据处理 6

7 透气率测试 7

 7.1 测试仪器 7

 7.2 样品制备 7

 7.3 测试方法 7

 7.4 数据处理 8

8 拉伸性能测试 8

 8.1 仪器与设备 8

 8.2 样品制备与调节 9

 8.3 测试方法 9

 8.4 结果表示和计算 9

9 180 剥离强度测试 10

 9.1 测试仪器 10

 9.2 样品制备与调节 10

 9.3 测试方法 10

 9.4 试样结果的表示 11

10 溶胀率测试 12

 10.1 测试仪器 12

 10.2 样品制备与状态调节 12

 10.3 测试方法 12

 10.4 数据处理 12

11 吸水率测试 13

 11.1 概述 13

 11.2 测试仪器 13

 11.3 样品制备 13

 11.4 测试方法 13

 11.5 数据处理 13

附录 A (资料性) 测试准备 14

 A.1 概述 14

 A.2 数据采集和记录 14

附录 B (资料性) 测试报告 15

 B.1 概述 15

 B.2 报告内容 15

 B.3 报告类型 15

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。

本文件是 GB/T 20042《质子交换膜燃料电池》的第3部分。GB/T 20042 已经发布了以下部分：

- 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：双极板测试方法；
- 第7部分：炭纸特性测试方法。

本文件代替 GB/T 20042.3—2009《质子交换膜燃料电池 第3部分：质子交换膜测试方法》。与 GB/T 20042.3—2009 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

修改部分术语及定义（见 3.1、3.2、3.3、3.9、3.10，2009 年版的 3.1～3.5）。

增加部分术语及定义（见 3.4、3.5、3.6、3.7、3.8）；

调整部分测试中质子交换膜状态调节温度（见第4章～第11章，2009 年版的第4章～第10章）；

力学性能区分横向和纵向，增加弹性模量和断裂伸长率指标（见 8.4.2 和 8.4.3）；

透气率采用压差法进行测试（见第7章）；

增加 180°剥离强度测试（见第9章）；

溶胀率区分横向、纵向和 Z 轴方法（见第10章）；

修改卡尺精度为 0.02 mm（见 4.1.2、5.1.2、8.1.3.2、10.1.2，2009 年版的 4.1.2、5.1.2、8.1.3.2、9.1.2）。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件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。

本文件起草单位：山东东岳未来氢能材料股份有限公司、中国科学院大连化学物理研究所、上海交通大学、武汉理工大学、山东国创燃料电池技术创新中心有限公司、中国质量认证中心、华北电力大学、无锡市产品质量监督检验院、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、深圳市标准技术研究院、苏州科润新材料股份有限公司、上海亿氢科技有限公司、上海捷氢科技有限公司、北京氢璞创能科技有限公司、浙江高成绿能科技有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、北京长征天民高科技有限公司、无锡威孚高科技集团股份有限公司、长城汽车股份有限公司保定氢能检测分公司、淄博市计量技术研究院、山东标准化协会。

本文件主要起草人：张永明、邹业成、俞红梅、刘烽、侯明、邢丹敏、王刚、刘建国、李赏、陈文森、张亮、陈耀、杨大伟、王海波、王军、刘佳、朱俊娥、侯向理、李艳昆、靳殷实、张义煌、王益群、马强、董亮星、来永钧。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

2009 年首次发布为 GB/T 20042.3—2009；

本次为第一次修订。

引 言

鉴于质子交换膜燃料电池技术发展,为服务质子交换膜燃料电池发电系统上下游制造商及其用户,GB/T 20042 提供了统一的术语及定义,并针对质子交换膜燃料电池堆及其关键零部件提供了统一的试验方法。

GB/T 20042《质子交换膜燃料电池》由以下七部分构成:

第1部分:术语。界定了质子交换膜燃料电池技术及其应用领域内使用的术语和定义;

第2部分:电池堆通用技术条件。给出了质子交换膜燃料电池堆的通用技术要求、试验方法、检验规则等内容;

第3部分:质子交换膜测试方法。给出了质子交换膜燃料电池中质子交换膜厚度均匀性、质子传导率等测试方法;

第4部分:电催化剂测试方法。给出了质子交换膜燃料电池电催化剂铂含量、电化学活性面积等测试方法;

第5部分:膜电极测试方法。给出了质子交换膜燃料电池膜电极厚度均匀性、Pt 担载量等测试方法;

第6部分:双极板测试方法。给出了质子交换膜燃料电池双极板气体致密性、抗弯强度、密度等测试方法;

第7部分:炭纸特性测试方法。给出了质子交换膜燃料电池炭纸厚度均匀性、电阻、机械强度等测试方法。

质子交换膜燃料电池

第 3 部分：质子交换膜测试方法

1 范围

本文件描述了质子交换膜燃料电池用质子交换膜的厚度均匀性测试、质子传导率测试、离子交换当量测试、透气率测试、拉伸性能测试、溶胀率测试和吸水率测试。

本文件适用于各种类型的质子交换膜。

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 2006 塑料 拉伸性能的测定 第 3 部分：薄膜和薄片的试验条件（ISO 527 3：1995，IDT）

GB/T 1446 2005 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 20042.1 2017 质子交换膜燃料电池 第 1 部分：术语

3 术语和定义

GB/T 20042.1 2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

质子传导率 proton conductivity

膜传导质子的能力，是电阻率的倒数。

注 1：质子传导率是衡量膜的质子导通能力的一项电化学指标，它反映了质子在膜内迁移能力的大小。

注 2：质子传导率的单位为西门子每厘米（S/cm）。

3.2

离子交换当量 equivalent weight; EW

含有 1 mol 质子的干态膜质量。

注 1：它与表示离子交换能力大小的离子交换容量 IEC（Ion Exchange Capacity）成倒数关系，体现了质子交换膜内的酸浓度。

注 2：离子交换当量的单位为克每摩尔（g/mol）。

3.3

拉伸强度 tensile strength

在给定温度、湿度和拉伸速度下，在标准膜试样上施加拉伸力，试样断裂前所承受的最大拉伸力与试样的横截面面积的比值。

注 1：横向拉伸强度：表示平行于膜卷轴向的膜的拉伸强度，用 σ_{TD} 表示。

注 2：纵向拉伸强度：表示垂直于膜卷轴方向的膜的拉伸强度，以 σ_{MD} 表示。

3.4

弹性模量 modulus of elasticity in tension

质子交换膜中,应力应变曲线上初始直线部分的斜率。

注 1: 横向拉伸弹性模量:表示平行于膜卷轴向的膜的拉伸弹性模量,用 E_{TD} 表示。

注 2: 纵向拉伸弹性模量:表示垂直于膜卷轴方向膜的拉伸弹性模量,以 E_{MD} 表示。

注 3: 推荐应力应变曲线上应变分别为 $\epsilon_1 = 0.5\%$ 和 $\epsilon = 2.5\%$ 的两个点的斜率为弹性模量。

注 4: 弹性模量用 E 表示,单位为兆帕(MPa)。

3.5

断裂拉伸应变 tensile strain at break

试样发生断裂时,原始标距单位长度的增量。

注 1: 横向断裂拉伸应变:表示平行于膜卷轴向的膜的断裂拉伸应变,用 ϵ_{TD} 表示。

注 2: 纵向断裂拉伸应变:表示垂直于膜卷轴方向膜的断裂拉伸应变,以 ϵ_{MD} 表示。

注 3: 断裂拉伸应变用 ϵ 表示,单位为无量纲的比值或百分数(%)。

3.6

180°剥离强度 peeling force at 180°angle

在剥离角度为 180 的剥离条件下,一定宽度测试样条以一定速度连续剥离时所需要的载荷。

注: 80 剥离强度的单位为牛每毫米(N/mm)。

3.7

气体透过率 gas permeation rate

在恒定温度和单位压力差下,稳定透过时,单位时间内透过试样单位面积的气体的体积。

注: 气体透过率用标准温度和压力下的体积值表示,单位为立方厘米每平方米天帕 $\text{cm}^3/(\text{m} \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$ 。

3.8

气体透过系数 gas permeation coefficient

在恒定温度和单位压力差下,在稳定透过时,单位时间内透过试样单位厚度、单位面积的气体的体积。

注: 气体透过系数用标准温度和压力下的体积值表示,单位为立方厘米厘米每平方米秒帕 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 。

3.9

吸水率 water uptake

在给定温度下单位质量干膜的吸水量。

注: 吸水率以%表示。

3.10

溶胀率 swelling rate

在给定温度下相对于干膜在横向、纵向和厚度方向的尺寸变化。

注 1: 横向、纵向和厚度方向的尺寸变化,分别记为 TD、MD 和 Z 轴。

注 2: 溶胀率以%表示。

4 厚度均匀性测试

4.1 测试仪器

4.1.1 测厚仪:精度不低于 $0.1 \mu\text{m}$ 。

注：详细的测试准备内容见附录 A。

4.1.2 卡尺：精度不低于 0.02 mm，用于测试膜的长度和宽度。

4.2 样品制备与状态调节

4.2.1 样品制备

样品可以为正方形或圆形，有效面积至少为 100 cm²。
样品应无折皱、缺陷和破损。

4.2.2 样品状态调节

样品在温度为 23℃±2℃，相对湿度为 50%±5%条件下放置 12 h 以上。

4.3 测试方法

- 4.3.1 每次测量前应校准测厚仪的零点，且在每个试样测量后应重新检查其零点。
- 4.3.2 测量时将测量头平缓放下，避免样品变形。测试过程测试头施加在样品表面的强度在 0.7 N/cm² ~ 2 N/cm² 之间选取。
- 4.3.3 在温度为 23℃±2℃，相对湿度为 50%±5%的恒温恒湿环境中进行测试。每 100 cm² 样品的测试点不少于 30 个，且均匀分布。测试点距离样品边缘应大于 5 mm。每组样品至少 3 个。

注：测试报告的内容见附录 B。

4.4 数据处理

- 4.4.1 样品的厚度均匀性用厚度最大值与最小值之差以及相对厚度偏差表示。
- 4.4.2 厚度极差按公式(1)计算：

$$R = d_m - d_{mi} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
R 膜的厚度极差，单位为微米(μm)；
d_m 测量区域内膜的厚度测量最大值，单位为微米(μm)；
d_{mi} 测量区域内膜的厚度测量最小值，单位为微米(μm)。

- 4.4.3 平均厚度按公式(2)计算：

$$d = \sum_{i=1}^n d_i / n \dots\dots\dots (2)$$

式中：
d 膜的平均厚度，单位为微米(μm)；
d_i 某一点膜的厚度测量值，单位为微米(μm)；
n 测量数据点数。

- 4.4.4 厚度相对偏差按公式(3)计算：

$$S = (d_i - d) / d \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：
S 膜的相对厚度偏差；
d_i 某一点膜的厚度测量值，单位为微米(μm)；
d 膜的平均厚度，单位为微米(μm)。

5 质子传导率测试

注：详细的测试准备内容见附录 A；测试报告的内容见附录 B。

5.1 测试仪器

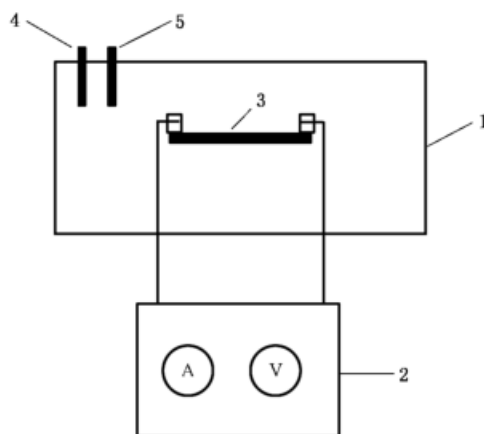
5.1.1 测厚仪：精度不低于 $0.1\ \mu\text{m}$ 。

5.1.2 卡尺：精度不低于 $0.02\ \text{mm}$ ，用于测试样品膜的 lengths 和宽度。

5.1.3 电化学阻抗测试仪：阻抗频率范围为 $1\ \text{Hz}\sim 5\times 10\ \text{Hz}$ ，扰动电压为 $10\ \text{mV}$ 。

5.1.4 质子交换膜的质子传导率是通过如图 1 所示的质子传导率测量系统测得。

该系统是由恒温恒湿测试腔，电化学工作站，质子传导率测试装置（见图 2）等部分组成，可以实现质子交换膜在不同温度、湿度下的质子传导率的测试。

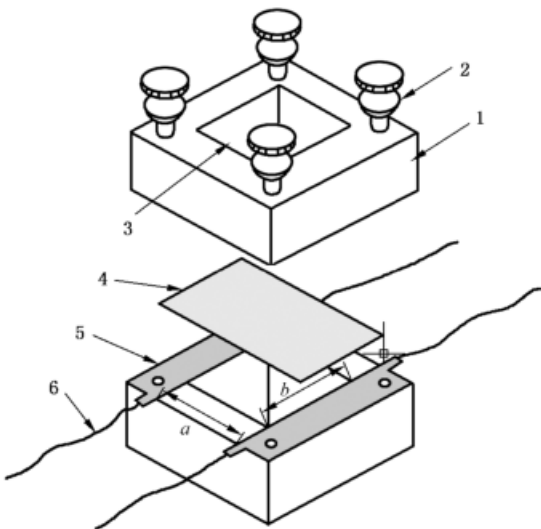


标引序号说明：

- 恒温恒湿测试腔；
- 2——电化学工作站；
- 3——电导率测试装置（见图 2）；
- 4——湿度传感器；
- 5——温度传感器。

图 1 质子传导率测量系统示意图

质子膜电导率测试装置如图 2 所示，膜样品两侧各放置一聚砒绝缘框作为端板，端板上开有一个方孔（ $2.0\ \text{cm}\times 2.0\ \text{cm}$ ），作为膜的有效测试面积，并可以使置于其中的膜与环境的温度、湿度保持一致；在一侧端板内侧放置一块相同尺寸的不导电的塑料薄膜，作为样品的支撑物。并在该端板的两端镶嵌一个镀金薄片和镀金电极导线，作为导电材料，与电化学阻抗测试仪连接。



- 标引序号说明：
- 聚碳酸酯绝缘框；
 - 2——螺杆；
 - 3——平衡开放区；
 - 4——膜样品；
 - 5——镀金薄片；
 - 镀金电极导线。

图 2 电导率测试装置示意图

5.2 样品制备与状态调节

截取长宽为不小于 2.0 cm×2.0 cm 的膜作为样品，在温度为 23 ℃±2 ℃，相对湿度为 50%±5% 的恒温恒湿条件下放置 12 h 以上。利用测厚仪测量样品的厚度，取 3 点的平均值为计算厚度 *d* 的值。

5.3 测试方法

将样品固定在图 2 所示的电导率测量池中，并用扭矩扳手以 3 N·m 的扭矩将螺栓拧紧。然后将电导率测试装置置于恒温恒湿测试腔中。设定温度、湿度等测试条件，测试条件如表 1 所示（其他测试条件也可由测试委托方与测试方协商确定）。待测试腔内达到所设定温度、湿度并稳定 30 min 后，在频率范围为 1 Hz~2×10⁴ Hz、扰动电压 10 mV 条件下用电化学阻抗测试仪测得样品的阻抗谱图。

表 1 质子交换膜电导率测试条件

温度	相对湿度
23 ℃ ± 2 ℃	30% ± 5%
	50% ± 5%
	95% ± 5%
80 ℃ ± 2 ℃	30% ± 5%
	50% ± 5%
	95% ± 5%

5.4 数据处理

在测得的阻抗谱图中,从谱线的高频部分与实轴的交点读取样品的阻抗值 R ,根据公式(4)计算出样品的面内质子传导率。

式中:

$$\sigma = a / (R \cdot b \cdot d) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- σ 样品的面内质子传导率,单位为西门子每厘米(S/cm);
- a 两电极间距离,单位为厘米(cm);
- R 样品的测量阻抗,单位为欧(Ω);
- b 与电极垂直方向的膜的有效长度,单位为厘米(cm);
- d 样品的厚度,单位为厘米(cm)。

注:取3个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

6 离子交换当量(EW)测试

注:详细的测试准备内容见附录A;测试报告的内容见附录B。

6.1 仪器与设备

6.1.1 分析天平:分度值不低于为0.1 mg。

6.1.2 自动电位滴定仪:pH值精度不低于0.1。

6.2 样品准备

取质量不低于0.5 g的样品,剪碎后将其置于真空烘箱内,在绝对压力为不高于20 kPa的真空、温度为80℃条件下,真空干燥8 h,移至干燥器中冷却至室温后,快速称量(30 s内完成),至恒重,前后两次称量之差小于0.2 mg。

6.3 测试方法

6.3.1 从烘箱中取出后,移至干燥器中冷却至室温后,迅速用分析天平称量干膜的质量 m 。

6.3.2 将样品放入密封的、装有饱和氯化钠溶液的试剂瓶中搅拌24 h。

6.3.3 用NaOH标准溶液利用自动电位滴定仪滴定至中性,记录消耗的NaOH溶液的体积 $V_{N\ H}$ 。

6.4 数据处理

根据公式(5)计算出膜的EW值:

$$EW = m / (V_{N\ H} \times C_{N\ H}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- EW 膜的离子交换当量,单位为克每摩尔(g/mol);
- m 干质子交换膜的质量,单位为克(g);
- $V_{N\ H}$ NaOH溶液的体积,单位为升(L);
- $C_{N\ H}$ NaOH标准溶液的摩尔浓度,单位为摩尔每升(mol/L)。

注:取3个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

7 透气率测试

注：详细的测试准备内容见附录 A；测试报告的内容见附录 B。

7.1 测试仪器

7.1.1 压差法气体渗透仪：检测最低限 $\geq 0.05 \text{ cm}^3/(\text{m} \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$ ，真空分辨率为 $\pm 0.1 \text{ Pa}$ ；结构图如图 3 所示。

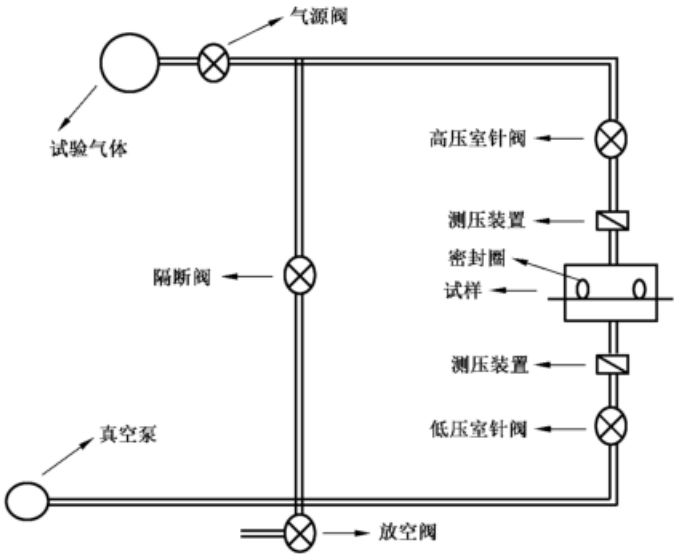


图 3 气体渗透仪

7.1.2 真空泵：可使低压室中的真空度抽至 10 Pa 以下。

7.1.3 水浴循环温度控制装置：温度控制精度为 $\pm 0.05 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

7.2 样品制备

7.2.1 样品应具有代表性，无折皱或可见的缺陷。样品一般为圆形，其直径取决于所使用的仪器，样品数应满足 3 次有效平行试验的要求。

7.2.2 样品测试前应在温度 80 $^\circ\text{C}$ 条件下，干燥至少放置 4 h。

7.3 测试方法

7.3.1 将压差法气体渗透仪的高压室和低压室分离，把真空油脂均匀涂抹在低压室试验台测试标志线之外的区域。

7.3.2 将一片按照要求裁切好的中速定性滤纸放置于低压室试验台中央空穴的正上方。

7.3.3 将准备好的样品分别平整贴附于涂有油脂的低压室试验台上，确保样品与油脂接触区域无气泡产生。

7.3.4 将高压室与低压室紧密闭合，开启水浴循环，温度控制装置设定温度为 23 $^\circ\text{C}$ 。

7.3.5 开启气体渗透仪电源开关，打开仪器计算机操作软件，运行安全气体（氮气或其他惰性气体）置换过程，时间不低于 600 s。

7.3.6 安全气体置换结束后，切换阀门，通入高纯氢气，同时开启真空泵，高压室和低压室同时抽空脱气至 10 Pa 以下。

7.3.7 关闭隔断阀,打开试验气瓶和气源开关向高压室充试验气体,高压室的气体压力应在 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 范围内。压力过高时,应开启隔断阀排出。

7.3.8 脱气结束后,仪器自动关闭高、低压室排气阀,开始透气试验。

7.3.9 剔除试验开始的非线性渗透阶段,记录低压室的压力变化值 ΔP 和试验时间 t 。

7.3.10 继续试验直到在相同的时间间隔内的低压室压力变化保持恒定,达到稳定透过。至少取 3 个连续时间间隔的压差值,求其算术平均值,以此计算该试样气体透过率及气体透过系数。

7.4 数据处理

7.4.1 气体透过率 Q_g 用公式(6)计算:

$$Q_g = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{P_0 \cdot T} \times \frac{24}{P_1 - P} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

Q_g 试样的气体透过率,单位为立方厘米每平方米天帕 [$\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$];

$\frac{\Delta P}{\Delta t}$ 稳定透过时,单位时间内低压室气体压力变化的算术平均值,单位为帕每时 (Pa/h);

V 低压室体积,单位为立方厘米 (cm^3);

S 试样的渗透面积,单位为平方米 (m^2);

T 试验温度,单位为开尔文 (K);

$P_1 - P$ 试样两侧的压差,单位为帕 (Pa);

T_0, P_0 标准状态下的温度 (273.15 K) 和压力 ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)。

7.4.2 气体透过系数 P_g 用公式(7)计算:

$$P_g = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{P_0 \cdot T} \times \frac{D}{P_1 - P} = 1.157 \times Q_g \times D \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

P_g 试样的气体透过率,单位为立方厘米厘米每平方厘米秒帕 [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$];

$\frac{\Delta P}{\Delta t}$ 稳定透过时,单位时间内低压室气体压力变化的算术平均值,单位为帕每秒 (Pa/s);

T 试验温度,单位为开尔文 (K);

D 试样的厚度,单位为厘米 (cm)。

7.4.3 对于给定的测试仪器,低压室体积 V 和试样的渗透面积 S 是一常数。

7.4.4 试验结果以每组试样的算术平均值表示。

8 拉伸性能测试

注:详细的测试准备内容见附录 A;测试报告的内容见附录 B。

8.1 仪器与设备

8.1.1 试验机

任何能满足本章试验要求的试验机均可。

8.1.2 试验夹具

试验夹具不应引起试样在夹具处断裂。施加负荷时,应满足试样的纵轴与通过夹具中心线的拉伸方向重合。

8.1.3 测厚仪和卡尺

- 8.1.3.1 测厚仪:精度不低于 0.1 μm。
- 8.1.3.2 卡尺:精度不低于 0.02 mm,用于测试膜的长度和宽度。

8.2 样品制备与调节

- 8.2.1 样品应沿送试材料纵向和横向分别等间隔裁取,根据 GB/T 1040.3 2006 规定的方法裁成一定尺寸的哑铃或长条形状。样品边缘应平滑无缺口,可用低倍放大镜检查缺口,舍去边缘有缺陷的样品。
- 8.2.2 样品按每个试验方向为一组,每组样品数应满足 3 次有效试验的要求。
- 8.2.3 按样品尺寸要求准确打印或画出标线。此标线应对样品不产生任何影响。
- 8.2.4 样品调节:样品应在温度为 23℃±2℃,相对湿度为 50%±5%的恒温恒湿条件下,放置时间至少 4 h。

8.3 测试方法

- 8.3.1 在温度为 23℃±2℃,相对湿度为 50%±5%的恒温恒湿条件下,测量样品厚度。每个样品的厚度及宽度应在标距内测量 3 点,取其平均值。厚度测量精确度为±0.2%,宽度测量精确度为±0.5%。
- 8.3.2 将样品置于试验夹具中,使样品纵轴与上、下夹具中心连线相重合,并将其夹紧。
- 8.3.3 试验速度:测定拉伸强度和断裂伸长率时,可以采用不同的拉伸速度,在 50 mm/min~200 mm/min 范围内选取。对于每种拉伸速度,应分别适用单独的试样。

测定弹性模量时,选择的实验速度应使应变速率接近每分钟 1%标距。

- 8.3.4 样品断裂后,读取相应的负荷值。若样品断裂在标线以外的部位时,该次试验无效。

8.4 结果表示和计算

8.4.1 拉伸强度

根据拉伸应力 应变曲线及膜样品初始的厚度、宽度数据,按公式(8)计算膜的拉伸强度。

$$\sigma = F / (b \cdot d) \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- σ 膜的最大拉伸强度,单位为兆帕(MPa);
- F 最大负荷,单位为牛(N);
- b 试样宽度,单位为毫米(mm);
- d 试样厚度,单位为毫米(mm)。

注:取 3 个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

8.4.2 断裂拉伸应变

根据标距,按公式(9)计算膜试样的断裂拉伸应变:

$$\epsilon_b (\%) = \frac{\Delta L_0}{L_0} \times 100 \% \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- ε_b 膜试样的断裂拉伸应变;
- L₀ 膜试样的标距,单位为毫米(mm);

ΔL_0 膜试样标记间长度的增量,单位为毫米(mm)。

注:取3个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

8.4.3 弹性模量

根据两个规定的应变值按公式(10)计算由3.6定义的弹性模量:

$$E = \frac{\sigma - \sigma_1}{\epsilon - \epsilon_1} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

E 弹性模量,单位为兆帕(MPa);

σ_1 应变值 ϵ_1 0.005 时测量的应力,单位为兆帕(MPa);

σ 应变值 ϵ 0.025 时测量的应力,单位为兆帕(MPa)。

注:取3个样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

9 180°剥离强度测试

注:详细的测试准备内容见附录A;测试报告的内容见附录B。

9.1 测试仪器

9.1.1 卡尺

精度不低于0.02 mm,用于测试膜的长度和宽度。

9.1.2 拉力试验机

拉力试验机应使试样的破坏负载在满标负荷的15%~85%之间。力值示值误差不应大于1%。试验机应以上升速度为300 mm/min $\pm$ 10 mm/min或合适的速度连续剥离,并能自动记录有关位移和负荷。

9.2 样品制备与调节

9.2.1 样品制备

试验样品呈长条状,纵向两边平行,试样宽度为15 mm $\pm$ 0.1 mm,长度不少于250 mm;每组样条不少于5条。沿试样方向将复合层与基材预先剥离50 mm,被剥开部分不应有明显损伤。

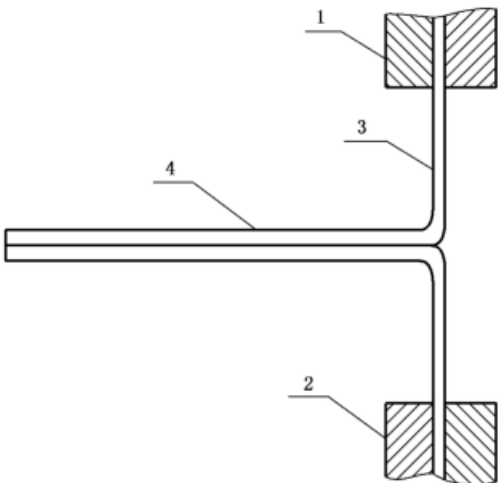
9.2.2 样品的调节

试验样品应在温度为23℃ $\pm$ 2℃,相对湿度为50% $\pm$ 5%的恒温恒湿条件下,放置时间至少4 h。

9.3 测试方法

9.3.1 在温度为23℃ $\pm$ 2℃,相对湿度为50% $\pm$ 5%的恒温恒湿条件下,测量试验样品的宽度。每个样品的宽度应在标距内测量3点,取其平均值。宽度测量精确度为 $\pm$ 0.5%。

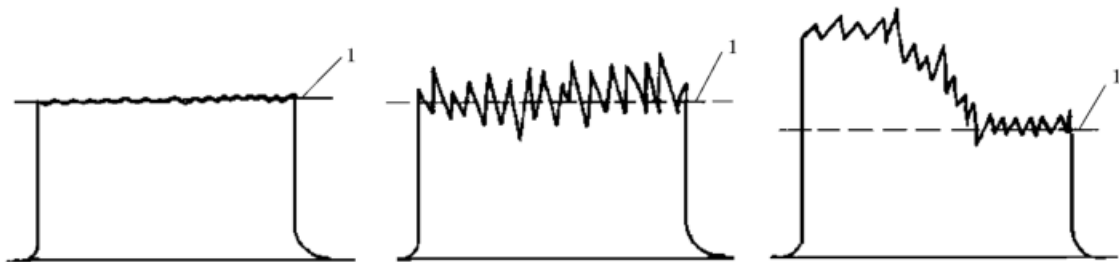
9.3.2 将试验样品剥开部分分别夹在试验机的上、下夹具上,使试验样品剥开部分的纵轴与上、下夹具中心连线相重合,并将其夹紧。气动夹具的压力值在0.3 MPa~0.7 MPa范围内选取。试验时,未剥开部分与拉伸方向呈T型,见图4。记录剥离过程的应力应变曲线。



标引序号说明：
1——上夹具；
2——下夹具；
3——试样剥开部分；
4——试样未剥开部分。

图 4 试样加持示意图

9.3.3 根据试验所得曲线形状(参照图 5 中三种典型曲线),剥离力采取相近的一种取值方法。



标引序号说明：
1——该试样的平均值。

图 5 典型剥离过程的应力应变曲线

9.3.4 试验速度:试样以 300 mm/min 的速度进行剥离测试。

9.4 试样结果的表示

根据测试过程记录的剥离力 F ,按照公式(11)计算试验样品的 180 剥离强度:

$$f = \frac{F}{15} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- F 测试过程中记录的拉力,单位为牛(N);
- f 试验样条的 180 剥离强度,单位为牛每毫米(N/mm);
- 15 试样的宽度,单位为毫米(mm)。

注:取 3 个有效数据样品为一组,计算出平均值作为试验结果。

10 溶胀率测试

注：详细的测试准备内容见附录 A；测试报告的内容见附录 B。

10.1 测试仪器

10.1.1 测厚仪：精度不低于 $0.1\ \mu\text{m}$ 。

10.1.2 卡尺：精度不低于 $0.02\ \text{mm}$ ，用于测试膜的长度和宽度。

10.1.3 恒温水浴：温度控制精度为 $\pm 0.2\ ^\circ\text{C}$ 。

10.2 样品制备与状态调节

10.2.1 样品的制备：沿着平行于膜卷轴方向截取长 $\times$ 宽 $40\ \text{mm}\times 20\ \text{mm}$ 的样条作为横向尺寸变化率的测试样条（长边平行于膜卷轴方向）；沿着垂直于膜卷轴方向截取长 $\times$ 宽 $40\ \text{mm}\times 20\ \text{mm}$ 的样条作为纵向尺寸变化率的测试样条（长边垂直于膜卷轴方向）。

10.2.2 样品数量至少为 3 个，应无折皱、缺陷和破损。

10.2.3 样品状态调节：样品测试前应在温度 $23\ ^\circ\text{C}\pm 2\ ^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $50\%\pm 5\%$ 的恒温恒湿环境条件下，至少放置 4 h。

10.3 测试方法

10.3.1 在温度为 $23\ ^\circ\text{C}\pm 2\ ^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $50\%\pm 5\%$ 的恒温恒湿条件下，用卡尺测量样品的初始长度 L_0 ，用测厚仪测试样品的厚度 d_0 。

10.3.2 将样品放入温度 $80\ ^\circ\text{C}\pm 2\ ^\circ\text{C}$ 的恒温水浴中，保持时间至少为 2 h。测试温度也可由委托方和测试方协商确定。

10.3.3 将样品平稳地从恒温水浴中取出，将其平铺于测量平台，并迅速测量其长度 L_1 ，用测厚仪测量其 Z 轴方向的尺寸 d_1 。

10.4 数据处理

根据横向试样和纵向试样的长度数据，按照公式(12)计算样品的横向变化率和纵向尺寸变化率：

$$\Delta L = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

ΔL 横(纵)向线性的变化率；

L_1 样品在恒温水浴浸泡后的尺寸，单位为微米(μm)；

L_0 样品的初始尺寸，单位为微米(μm)。

注 1：取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

根据试样厚度数据，按照公式(13)计算样品的 Z 轴尺寸变化率：

$$\Delta d = (d_1 - d_0) / d_0 \times 100\% \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

Δd Z 轴的线性的变化率；

d_1 样品在恒温水浴浸泡后的厚度尺寸，单位为微米(μm)；

d_0 样品的初始厚度尺寸，单位为微米(μm)。

注 2：取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

11 吸水率测试

注：详细的测试准备内容见附录 A；测试报告的内容见附录 B。

11.1 概述

本章规定了燃料电池用质子交换膜在规定尺寸、温度和浸水条件下吸水率的测定方法。
本章规定的两种方法的浸水温度分别是 23℃±2℃和沸水温度 100℃±2℃。

11.2 测试仪器

- 11.2.1 分析天平：分度值为 0.1 mg。
- 11.2.2 烘箱：能控制在 80℃±0.2℃。
- 11.2.3 恒温水浴：温度控制精度为±0.2℃。

11.3 样品制备

- 11.3.1 根据 GB/T 1446 2005 的规定，截取边长 50 mm±1 mm 的方形或直径为 50 mm±1 mm 的圆形试样作为待测样品。
- 11.3.2 样品数量至少为 3 个，应无折皱、缺陷和破损。

11.4 测试方法

将样品置于 80℃±2℃的烘箱中干燥 24 h，移至干燥器中冷却至室温后，用分析天平称取样品的初始质量 m_0 。

23℃及 100℃下的吸水率测试方法如下：

- a) 23℃下的吸水率测试：将样品放入 23℃±2℃的恒温水浴中，保持时间至少为 2 h；将样品从恒温水浴中取出，将其表面用滤纸吸干，在 30 s 内测量其质量。
- b) 将样品放入 100℃±2℃沸腾蒸馏水中，浸泡 1 h 后，将样品快速移入室温蒸馏水中冷却 15 min±1 min，将样品从恒温水浴中取出，将其表面用滤纸吸干，在 30 s 内测量其质量。

11.5 数据处理

按照公式(14)计算：

$$\Delta m = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- Δm 吸水率；
- m_1 样品在恒温水浴浸泡后的质量，单位为克(g)；
- m_0 样品的初始质量，单位为克(g)。

注：取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。
若一组样品中任意两个样品间的吸水率之差超过 5%，则应查明原因重新测定。

附录 A

(资料性)

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,以便将不确定因素减到最少。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;
- d) 质量保证标准;
- e) 结果不确定度;
- 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;
- i) 必要时,列出以氢气作为燃料的最低安全要求事项(由最终产品制造商提供说明文件)。

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)
测 试 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、清晰和客观的数据用来进行分析和参考。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。

B.2 报告内容

B.2.1 标题页

标题页应介绍下列各项信息:

国家标准编号;
样品名称、材料组成,规格;
试样状态调节及测试标准环境;
试验机型号;
每次测试的结果以及结果的平均值;
试验日期、人员。

标题页应包括以下内容:

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;
- 试验的环境条件;
- 试验者的姓名和资格;
- 完整和详细的不确定度分析。
