

ICS 27.070

K82

团 体 标 准

T/CCAMTB XX—XXXX

质子交换膜燃料电池密封元件测试方 法

Test method of sealants for proton exchange membrane fuel cells

(征求意见稿)

XXXX 年 XX 月 XX 日 发布

XXXX 年 XX 月 XX 日 实施

中国汽车工业协会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 密封元件材料硬度	2
5 密封元件材料压缩应力应变性能	2
6 密封元件材料撕裂强度	3
7 密封元件材料玻璃化转变温度	3
8 密封元件材料气体透过率	3
9 密封元件材料低温脆性温度	3
10 密封元件材料体积电阻率	3
11 密封元件材料表面电阻率	3
12 密封元件材料压缩应力松弛	3
13 密封元件材料热空气压缩永久变形	3
14 密封元件材料低温空气压缩永久变形	5
15 密封元件材料耐酸性溶液性能	6
16 密封元件材料耐 50%乙二醇溶液性能	8
17 密封元件厚度的测量	10
18 密封元件气体致密性测试	11
19 试验准备及试验报告	12
附录 A (资料性) 测试设备	13
附录 B (资料性) 密封元件试验报告的注意事项	14
附录 C (资料性) 密封制品使用时的注意事项	16

前 言

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

本标准由中国动力电池产业创新联盟燃料电池分会提出。

本标准由中国汽车工业协会归口。

本标准负责起草单位：上海交通大学

本标准参加起草单位：上海治臻新能源装备有限公司、新源动力股份有限公司、未势能源科技有限公司、上海重塑能源科技有限公司、无锡先导智能装备股份有限公司、上海骥翀氢能科技有限公司、郑州宇通客车股份有限公司、云浮（佛山）氢能标准化创新研发中心

本标准主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX。

引 言

密封元件是燃料电池的重要组成部分，一般位于双极板与膜电极之间，单极板与单极板之间，起到隔离反应气体和冷却液，并防止泄露的作用，是保证燃料电池氢安全和电安全的关键部件。在燃料电池发展的初期就应该建立起统一的标准，用标准化来促进市场的规范和产品质量的提升。目前，关于各行业的密封材料的测试标准较多，涉及外观尺寸、机械性能、寿命评价、储藏条件等多个方面，但无法有效适用于燃料电池的特殊工作环境，例如低温启动、耐酸耐温等。因此，围绕燃料电池长寿命运行对密封性能的要求，结合密封元件的制造方式和现有标准的测试方法，形成面向燃料电池行业的密封元件关键测试方法具有重要意义。

质子交换膜燃料电池密封元件测试方法

1 范围

本标准规定了质子交换膜燃料电池密封元件特性测试方法的术语和定义、密封元件材料硬度测试、压缩应力应变性能测试、撕裂强度测试、玻璃化转变温度测试、气体透过率测试、低温脆性温度测试、体积电阻率测试、表面电阻率测试、压缩永久变形测试等；密封元件厚度测试、气体致密性测试等内容；

本标准适用于各种类型的质子交换膜燃料电池用密封材料和元件。本标准主要分为密封元件材料特性测试和密封元件特性测试两部分。

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，仅所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 20042.1 质子交换膜燃料电池 术语

GB/T 5719, 橡胶密封制品 词汇

GB/T 9881, 橡胶 术语

GB/T 1685, 硫化橡胶或热塑性橡胶 在常温和高温下压缩应力松弛的测定

GB/T 5723, 硫化橡胶或热塑性橡胶 试验用试样和制品尺寸的测定

GB/T 531.1, 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分：邵氏硬度计法（邵尔硬度）

GB/T 528, 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定

GB/T 529, 硫化橡胶或热塑性橡胶 撕裂强度的测定（裤形、直角形和新月形试样）

GB/T 7755, 硫化橡胶或热塑性橡胶 透气性的测定

GB/T 7757, 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩应力应变性能的测定

GB/T 1037, 塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法 杯式法

GB/T 15256, 硫化橡胶或热塑性橡胶 低温脆性的测定（多试样法）

GB/T 1692, 硫化橡胶 绝缘电阻率的测定

GB/T 7759.1, 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第1部分：在常温及高温条件下

GB/T 7759.2, 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定第2部分：在低温条件下

GB/T 3512, 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验

GB/T 19466.2, 塑料 差示扫描量热法（DSC） 第2部分：玻璃化转变温度的测定 GB/T 1690, 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐液体试验方法

3 术语和定义

GB/T 20042.1、GB/T 5719 和 GB/T 9881 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

压缩永久变形 **Compression set**

密封元件材料在规定的温度、时间和压缩率条件下，经持续压缩后保持其弹性的能力，与初始厚度及压缩率相关。

注：密封元件材料，如橡胶，长时间的压缩状态会引起材料物理和化学性能的变化，当压缩力消失后，材料难以恢复到初始状态，产生压缩永久变形。压缩永久变形的大小取决于压缩作用下的压缩率、温度和时间。

3.2

压缩应力松弛 **Compressive stress relaxation**

密封元件材料在规定的温度、时间和压缩应变条件下，随时间增加压缩应力减少的现象，用初始力的百分率表示。

注：密封元件材料，如橡胶，长时间压缩后由于应力松弛现象密封力下降。压缩应力松弛的大小取决于初始压缩应变、温度和时间。

3.3

耐酸溶液性能 **Resistance to acid solution**

在规定的温度、时间条件下，密封元件材料经 PH=2 的酸性水溶液（由 12ppm 硫酸、1.8ppm 氢氟酸及电阻率 $\geq 18M\Omega$ 的试剂级超纯水配制）浸泡前、后性能的变化，如质量、体积、尺寸、硬度、压缩性能等（见 13.4），评价酸性液体对材料的作用。

注：此性能是衡量密封材料在燃料电池腐蚀环境中的抗腐蚀能力，它反映了材料的抗化学衰减能力。

3.4

耐 50%乙二醇溶液性能 **Resistance to 50% glycol solution**

在规定的温度、时间条件下，密封元件材料经 50%乙二醇溶液（体积比）浸泡后，材料特性的变化，如质量、体积、尺寸、硬度、压缩性能等（见 14.4），评价冷却液对材料的作用。

注：此性能是衡量密封材料在燃料电池冷却液环境中的耐受能力

4 密封元件材料硬度

本部分参考 GB/T 531.1 关于硫化橡胶或热塑性橡胶-压入硬度试验方法，第 1 部分：邵氏硬度（邵尔硬度）的测试，根据硬度范围选择合适的标尺（A0 标尺、A 标尺、D 标尺、AM 标尺），邵氏硬度计弹簧试验力保持时间为 3s。

5 密封元件材料压缩应力应变性能，MPa

本部分参考 GB/T 7757 关于硫化橡胶或热塑性橡胶的压缩应力应变性能的测定方法，不同材料试验结果对比需采用本标准中同一方法进行测试。

6 密封元件材料撕裂强度, kN/m

本部分参考 GB/T 529 关于硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测试, 不同材料撕裂强度的对比应选择相同的试样形状、拉伸速度和试验温度。

7 密封元件材料玻璃化转变温度, °C

本部分参考 GB/T 19466.2 关于塑料玻璃化转变温度的测定方法。

8 密封元件材料气体透过率

本部分反应气体(氢气、氧气或氮气)透过率参考 GB/T 7755.1 关于硫化橡胶或热塑性橡胶透气性的测定方法, 采用压差法, 单位为 $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^2 \cdot \text{Pa})$; 水蒸气透过率参考 GB/T 1037 关于塑料薄膜和片材透水蒸汽性试验的测试方法, 单位为 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ 。

9 密封元件材料低温脆性温度, °C

本部分参考 GB/T 15256 关于硫化橡胶或热塑性橡胶低温脆性的测定方法, 选择程序 A 进行测试。

10 密封元件材料体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$

本部分参考 GB/T 1692 关于硫化橡胶绝缘电阻率的测定方法, 采用板状试样电极, 计算体积电阻率。

11 密封元件材料表面电阻率, Ω

本部分参考 GB/T 1692 关于硫化橡胶绝缘电阻率的测定方法, 采用板状试样电极, 计算表面电阻率。

12 密封元件材料压缩应力松弛, %

本部分可分别测定燃料电池工作温度下和循环温度下的压缩应力松弛测试, 工作温度下的测试参考 GB/T 1685 关于硫化橡胶或热塑性橡胶在常温和高温下的压缩应力松弛的测定方法, 选择圆柱形试样, 测试方法选择方法 A。循环温度下的测试参考 GB/T 1685.2 关于硫化橡胶或热塑性橡胶在循环温度下的压缩应力松弛测定方法, 选择圆柱形试样, 测试方法选择方法 B。

13 密封元件材料热空气压缩永久变形, %

13.1 测试仪器

13.1.1 压缩装置: 保证密封元件材料样品在高温环境中保持恒定压缩率;

13.1.2 老化箱：温度精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，保证含有试样的箱内部温度达到稳定的允许公差范围内的试验目标温度不应超过 3h；

13.1.4 带有环境箱的压缩试验机：可根据实际情况，采用压缩试验机替代压缩装置，保持试样处于恒定压缩率；该压缩机附有可控温度的环境箱；

13.1.5 测厚仪：精度为 $\geq \pm 0.01\text{mm}$ ，用于测试厚度小于 30mm 的密封元件厚度。

注：可采用精度更高的数字测厚仪，分辨率为 0.001mm；高温实验结束后，试样可能出现不可预知的变形，使得厚度测量复杂，应选用带有直径为 $4\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的平坦圆形压足的厚度仪在平面测试台上进行测量，以提供精确的测量。

13.2 样品制备

13.2.1 试样直径为 $29.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，高度为 $12.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的圆柱体，无缺陷和破损；

13.2.2 试样尽可能采用模压法制备，也可通过裁切法获得，但应符合 GB/T2941-2006 的规定；

13.2.3 对于硫化橡胶，硫化到试验之间的最短时间是 16h；对于成品试验，硫化到试验之间的最长时间不超过 3 个月，对于非成品试验，硫化到试验之间的最长时间为 4 周。

13.3 测试方法

13.3.1 将试样放置在温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 条件下 12 小时，测量每个试样中心部位的初始高度，精确到 0.01mm，测试方法参考 17.3；

注：放置样品的恒温恒湿条件也可由供需双方协商规定。

13.3.2 将试样置于压缩装置，仔细清洁操作表面，在压缩装置与试样的接触表面涂一薄层润滑剂，所施加的压缩率应为试样初始高度的 $(25 \pm 2)\%$ ，也可由供需双方协商规定；

注：所用润滑剂应对试样没有任何影响，并在试验报告中注明所用润滑剂，硅油或氟硅液的动黏滞性为 $0.01\text{m}^2/\text{s}$ ，适用于大多数试样，润滑剂的选用也可由供需双方协商规定。

13.3.3 将装好试样的压缩装置置于已经达到试验温度的老化箱的中间部位，试验温度为 $95^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ （或者由供需双方协商规定），试验时间为 24h，72h，168h 或者 168h 的倍数，试验温度和试验时间也可由供需双方协商规定；

注：也可采用带环境箱的拉伸机，此时无需压缩装置，通过拉伸机的压头控制试样的压缩率，操作过程如上所述。

13.3.4 到达规定的试验时间后，将试验装置从老化箱（环境箱）取出，立即松开试样，并快速将试样置于木板上，将试样在标准实验室温度下恢复 $30\text{min} \pm 3\text{min}$ ，测量试样的高度；

13.3.5 试验完成后，沿着直径方向将试样切成两部分，若内部有缺陷，如气泡，应重新进行试验。

13.4 数据处理

压缩永久变形 C 以初始压缩的百分数来表示，按式(1)计算

$$C = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

h_0 —试样的初始高度，单位为毫米(mm)；

h_1 —试样恢复后的高度，单位为毫米(mm)；

h_s —压缩装置（拉伸机）的限制高度，单位为毫米(mm)；

计算结果精确到 1%；

取 5 个样品为一组，至少得到 3 个有效数据，计算出平均值作为试验结果。

14 密封元件材料低温空气压缩永久变形，%

14.1 测试仪器

14.1.1 压缩装置：保证密封元件材料样品在低温环境中保持恒定压缩率，可参考 GB/T 7759.2；

14.1.2 低温箱：温度精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，保证含有试样的箱内部温度达到稳定的允许公差范围内的试验目标温度不应超过 3h。低温箱可以通过机械制冷，也可以通过干冰或液氮直接制冷；

14.1.3 带有环境箱的拉伸机：可根据实际情况，采用拉伸机替代压缩装置，保持试样处于恒定压缩率；该拉伸机附有可控温度的环境箱；

14.1.4 测厚仪：精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，用于测试厚度小于 30mm 的密封元件厚度。

注：可采用精度更高的数字测厚仪，分辨率为 0.001mm；低温实验结束后，试样可能出现不可预知的变形，使得厚度测量复杂，应选用带有直径为 $4\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ 的平坦圆形压足的厚度仪在平面测试台上进行测量，以提供精确的测量。

14.2 样品制备

14.2.1 试样直径为 $29.0\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ，高度为 $12.5\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ 的圆柱体，无缺陷和破损；

14.2.2 试样尽可能采用模压法制备，也可通过裁切法获得，但应符合 GB/T2941-2006 的规定；

14.2.3 对于硫化橡胶，硫化到试验之间的最短时间是 16h；对于成品试验，硫化到试验之间的最长时间不超过 3 个月，对于非成品试验，硫化到试验之间的最长时间为 4 周。

14.3 测试方法

14.3.1 将试样放置在温度为 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $50\%\pm 5\%$ 条件下 12 小时，测量每个试样中心部位的初始高度，精确到 0.01mm，测试方法参考 17.3；

注：放置样品的恒温恒湿条件也可由供需双方协商规定。

14.3.2 将试样置于压缩装置，仔细清洁操作表面，在压缩装置与试样的接触表面涂一薄层润滑剂，所施加的压缩率应为试样初始高度的 $(25\pm 2)\%$ ，也可由供需双方协商规定；

注：所用润滑剂应对试样没有任何影响，并在试验报告中注明所用润滑剂，硅油或氟硅液的动黏滞性为 $0.01\text{m}^2/\text{s}$ ，适用于大多数试样，润滑剂的选用也可由供需双方协商规定。

14.3.3 将装好试样的压缩装置置于已经达到试验温度的老化箱的中间部位，试验温度为 $-40^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，试验时间为 24h, 72h, 168h 或者 168h 的倍数，试验温度和试验时间也可由供需双方协商规定；

注：也可采用带环境箱的拉伸机，此时无需压缩装置，通过拉伸机的压头控制试样的压缩率，操作过程如上所述。

14.3.4 到达规定的试验时间后，将试验装置从低温箱（环境箱）取出，立即松开试样，并快速将试样置于木板上，将试样在标准实验室温度下恢复 $30\text{min}\pm 3\text{min}$ ，测量试样的高度；

14.3.5 试验完成后，沿着直径方向将试样切成两部分，若内部有缺陷，如气泡，应重新进

行试验。

14.4 数据处理

压缩永久变形 C 以初始压缩的百分数来表示，按式 (2) 计算

$$C = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

h_0 —试样的初始高度，单位为毫米(mm)；

h_1 —试样恢复后的高度，单位为毫米(mm)；

h_s —压缩装置（拉伸机）的限制高度，单位为毫米(mm)；

计算结果精确到 1%；

取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

15 密封元件材料耐酸性溶液性能

15.1 测试仪器

15.1.1 全浸装置：设计时应考虑液体的挥发性和试验温度，可采用带有回流冷凝器的容器或通过其他方式以减少酸性液体的挥发；试验容器所用的材料不应与试验液体及试样发生反应；试验容器的尺寸应保证试样在不发生任何变形的情况下完全浸入液体；

15.1.2 测厚装置：测厚仪，精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，用于测试试样的厚度；

15.1.3 尺寸测量装置：卡尺，精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，用于测试试样的长度和宽度；

15.1.4 质量测量装置：天平，精度为 $\pm 1\text{mg}$ ；

15.1.5 压缩试验机：符合 ISO5893 要求，配有自动绘图装置记录力-变形的关系，测力精度达到 1 级。

15.2 样品制备

15.2.1 试样厚度为 $2.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ；如果试样厚度超过 2.2mm ，则将厚度处理到 $2.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ；如果厚度小于 1.8mm ，则以试样的实际厚度作为试验厚度；

15.2.2 测量质量变化的试样建议尺寸为 $25\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，或供需双方进行协商规定；

15.2.3 测量硬度变化试样横向尺寸不小于 8mm ；

15.2.4 测量尺寸变化的试样可以为 $25\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的长方形，也可以选直径为 44.6mm 的圆形试样 (GB/T528)；

15.2.5 测量压缩应力应变性能变化的试样按 GB/T7757 规定，选择直径为 $29.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，高度为 $12.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的圆柱体试样；

15.2.6 对于硫化橡胶，硫化到试验之间的最短时间是 16h；对于成品试验，硫化到试验之间的最长时间不超过 3 个月，对于非成品试验，硫化到试验之间的最长时间为 4 周。

15.3 测试方法

15.3.1 将试样放置在温度为 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 条件下 12 小时，对未处理的试样进行质量测试、尺寸测试 (参考 GB/T 5723，方法 A)、硬度测试 (参考 4. 密封元件材料硬度)、压缩应力应变测试 (参考 5. 密封元件材料压缩应力应变性能)；对比试验时，始

T/CAAMTB XX—XXXX

终保持同一温湿度；

注：放置样品的恒温恒湿条件也可由供需双方协商规定。

15.3.2 每组测试至少需要 3 个试样，在浸泡前做好标识；

15.3.3 所用酸性溶液为 PH=2 的酸性水溶液（由 12ppm 硫酸、1.8ppm 氢氟酸及电阻率 $\geq 18M\Omega$ 的试剂级超纯水配制）；

15.3.4 将试样浸入盛有配置溶液的容器中，浸入的试样互不接触，距离容器内壁不少于 5mm，距离容器底部和液体表面不少于 10mm，将容器放入已达到所需温度的恒温箱或液体加热恒温装置，试验温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 或 $85^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ （或供需双方协商的其他温度）；

15.3.5 浸泡时间为 24h、72h、168h 或 168h 的整数倍，也可由供需双方协商规定；

15.3.6 浸泡结束后取出试样，除去试样表面残留的液体；

15.3.7 对浸泡后的试样进行质量测试、尺寸测试（参考 GB/T 5723，方法 A）、硬度测试（参考 4. 密封元件材料硬度）、压缩应力应变测试（参考 5. 密封元件材料压缩应力应变性能），试样从液体中取出至性能测试完毕，不应超过以下时间质量测试和尺寸测试 $\leq 1\text{min}$ ，硬度测试 $\leq 1\text{min}$ ，压缩应力应变性能测试 $\leq 2\text{min}$ 。

15.4 数据处理

15.4.1 质量变化

在标准实验室温度下测量试样浸泡前后的质量，精确到 1mg。

按式 (3) 计算质量变化百分率 (Δm)

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

m_0 —浸泡前试样在空气中的质量，单位为克 (mg)；

m_1 —浸泡后试样在空气中的质量，单位为克 (mg)；

取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

15.4.2 尺寸变化

在标准实验室温度下，测量试样浸泡前后的尺寸变化：沿着靠近试样的中心线处测量试样长度（宽度），取上下两面测量结果的平均值；用厚度计在试样的四个不同位置测量试样的厚度取平均值。

按式 (4) 计算长度变化百分率 (Δl)

$$\Delta l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

l_0 —浸泡前试样的初始长度，单位为毫米 (mm)；

l_1 —浸泡后试样的初始长度，单位为毫米 (mm)；

采用上式分别对长度、宽度和厚度进行尺寸变化率的计算，取 3 个试样试验结果的中值作为试验结果。

15.4.3 硬度变化

按本标准 4. 密封元件材料硬度的方法，测量浸泡前后每个试样的硬度，按式 (5) 计算试验前后的硬度变化 (ΔH)

$$\Delta H = H_1 - H_0 \quad (5)$$

式中：

H_0 —浸泡前试样的硬度；

H_1 —浸泡后试样的硬度；

取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

15.4.4 压缩应力应变性能变化率

按本标准 5. 密封元件材料压缩应力应变性能的方法，测量浸泡前后每个试样的压缩应力应变性能，根据初始截面积（单位为 mm^2 ）计算试样压缩应变在 25%（或者供需双方协商确定）时的压缩强度，按式（6）计算试验前后的压缩性能变化（ ΔX ）

$$\Delta X = \frac{X_1 - X_0}{X_0} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

X_0 —浸泡前试样压缩应变在 25%时的压缩强度；

X_1 —浸泡后试样压缩应变在 25%时的压缩强度；

取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

16 密封元件材料耐 50%乙二醇溶液性能

16.1 测试仪器

16.1.1 全浸装置：设计时应考虑液体的挥发性和试验温度，可采用带有回流冷凝器的容器或通过其他方式以减少酸性液体的挥发；试验容器所用的材料不应与试验液体及试样发生反应；试验容器的尺寸应保证试样在不发生任何变形的情况下完全浸入液体；

16.1.2 测厚装置：测厚仪，精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，用于测试试样的厚度；

16.1.3 尺寸测量装置：卡尺，精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ ，用于测试试样的长度和宽度；

16.1.4 质量测量装置：天平，精度为 $\pm 1\text{mg}$ ；

16.1.5 压缩试验机：符合 ISO5893 要求，配有自动绘图装置记录力-变形的关系，测力精度达到 1 级。

16.2 样品制备

16.2.1 试样厚度为 $2.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ；如果试样厚度超过 2.2mm ，则将厚度处理到 $2.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ；如果厚度小于 1.8mm ，则以试样的实际厚度作为试验厚度；

16.2.2 测量质量变化的试样建议尺寸为 $25\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，或供需双方进行协商规定；

16.2.3 测量硬度变化试样横向尺寸不小于 8mm ；

16.2.4 测量尺寸变化的试样可以为 $25\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的长方形，也可以选直径为 44.6mm 的圆形试样（GB/T528）；

16.2.5 测量压缩应力应变性能变化的试样按 GB/T7757 规定，选择直径为 $29.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，高度为 $12.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的圆柱体；

16.2.6 对于硫化橡胶，硫化到试验之间的最短时间是 16h；对于成品试验，硫化到试验之间的最长时间不超过 3 个月，对于非成品试验，硫化到试验之间的最长时间为 4 周。

16.3 测试方法

16.3.1 将试样放置在温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 条件下 12 小时，对未处理的试样进行质量测试、尺寸测试（参考 GB/T 5723，方法 A）、硬度测试（参考 4. 密封元件材料硬度）、压缩应力应变测试（参考 5. 密封元件材料压缩应力应变性能）；对比试验时，始终保持同一温湿度；

注：放置样品的恒温恒湿条件也可由供需双方协商规定。

16.3.2 每组测试至少需要 3 个试样，在浸泡前做好标识；

16.3.3 所用酸性溶液为 50% 乙二醇溶液；

16.3.4 将试样浸入盛有配置溶液的容器中，浸入的试样互不接触，距离容器内壁不少于 5mm，距离容器底部和液体表面不少于 10mm，将容器放入已达到所需温度的恒温箱或液体加热恒温装置，试验温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 和 $85^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ （或供需双方协商的其他温度）；

16.3.5 浸泡时间为 24h、72h、168h 或 168h 的整数倍，也可由供需双方协商规定；

16.3.6 浸泡结束后取出试样，除去试样表面残留的液体；

16.3.7 对浸泡后的试样进行质量测试、尺寸测试（参考 GB/T 5723，方法 A）、硬度测试（参考 4. 密封元件材料硬度）、压缩应力应变测试（参考 5. 密封元件材料压缩应力应变性能），试样从液体中取出至性能测试完毕，不应超过以下时间质量测试和尺寸测试 $\leq 1\text{min}$ ，硬度测试 $\leq 1\text{min}$ ，压缩应力应变性能 $\leq 2\text{min}$ 。

16.4 数据处理

16.4.1 质量变化

在标准实验室温度下测量试样浸泡前后的质量，精确到 1 mg。

按式（7）计算质量变化百分率（ Δm ）

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

m_0 —浸泡前试样在空气中的质量，单位为克（mg）；

m_1 —浸泡后试样在空气中的质量，单位为克（mg）；

取 3 个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

16.4.2 尺寸变化

在标准实验室温度下，测量试样浸泡前后的尺寸变化：沿着靠近试样的中心线处测量试样长度（宽度），取上下两面测量结果的平均值；用厚度计在试样的四个不同位置测量试样的厚度取平均值。

按式（8）计算长度变化百分率（ Δl ）

$$\Delta l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

l_0 —浸泡前试样的初始长度，单位为毫米（mm）；

l_1 —浸泡后试样的初始长度，单位为毫米（mm）；

采用上式分别对长度、宽度和厚度进行尺寸变化率的计算，取 3 个试样试验结果的平均值作为试验结果。

16.4.3 硬度变化

按本标准 4. 密封元件材料硬度的方法，测量浸泡前后每个试样的硬度，按式（9）计算试验

前后的硬度变化 (ΔH)

$$\Delta H = H_1 - H_0 \quad (9)$$

式中:

H_0 —浸泡前试样的硬度;

H_1 —浸泡后试样的硬度;

取 3 个样品为一组, 计算出平均值作为试验结果。

16.4.4 压缩应力应变性能变化率

按本标准 5. 密封元件材料压缩应力应变性能的方法, 测量浸泡前后每个试样的压缩应力应变性能, 根据初始截面积 (单位为 mm^2) 计算试样压缩应变在 25% (或者供需双方协商确定) 时的压缩强度, 按式 (10) 计算试验前后的压缩性能变化 (ΔX)

$$\Delta X = \frac{X_1 - X_0}{X_0} \times 100\% \quad (10)$$

式中:

X_0 —浸泡前试样压缩应变在 25% 时的压缩强度;

X_1 —浸泡后试样压缩应变在 25% 时的压缩强度;

取 3 个样品为一组, 计算出平均值作为试验结果。

17 密封元件厚度的测量

参考 GB/T 5723-1993 中的方法进行测试。

17.1 测试仪器

17.1.1 测厚仪: 精度为 $\pm 0.001\text{mm}$, 用于测试厚度小于 30mm 的密封元件厚度;

17.1.1 卡尺: 精度为 $\pm 0.01\text{mm}$, 用于测试密封元件的长度和宽度。

17.2 样品制备

样品为密封元件, 或供需双方协商的其他形状, 有效面积至少为 100cm^2 ;

样品应无褶皱、缺陷和破损。

17.3 测试方法

17.3.1 样品在温度为 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 条件下放置 12 小时;

注: 放置样品的恒温恒湿条件也可由供需双方协商规定。

17.3.2 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;

17.3.3 测量时将测量头平缓放下, 避免样品变形。测试过程测试压头施加在样品的压力应选取: 对硬度大于或等于 35IRHD 的试样或制品施加 $22 \pm 5\text{kPa}$ 的压力; 对硬度小于 35IRHD 的试样或制品施加 $10 \pm 2\text{kPa}$ 的压力;

17.3.4 在 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 条件中进行测试, 每 100cm^2 样品的测试点不少于 9 个, 且均匀分布。

17.4 数据处理

样品的厚度均匀性用厚度最大值和最小值之差以及相对厚度偏差表示。

17.4.1 最大值与最小值之差按照公式(13)计算

$$\Delta d = d_{max} - d_{min} \quad (11)$$

式中： Δd —密封元件的厚度最大值和最小值之差，单位为毫米(mm)；

d_{max} —密封元件的厚度最大值，单位为毫米(mm)；

d_{min} —密封元件的厚度最小值，单位为毫米(mm)。

17.4.2 厚度相对偏差按公式(14)计算：

$$S = (d_i - d) / d \times 100\% \quad (12)$$

式中： S —密封元件的相对厚度偏差；

d_i —密封元件某一点的厚度测量值，单位为毫米(mm)；

d —密封元件的厚度设计值，单位为毫米(mm)；

取3个样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

18 密封元件气体致密性测试

18.1 测试仪器

用于密封元件气体致密性测量装置如图1所示，主要包括气体稳压容器、压力传感器、质量流量计、高压测试腔、低压测试腔、温度传感器和相应的管路及阀门等

——测试腔，用于进行致密性测试的试验腔体，在替代隔离元件两侧，分别为高压侧和低压侧，各连接一个压力传感器。测试腔的材质不能与试验气体发生反应，水力直径应在50 mm以。

——体积流量计，或具有转化为体积流量功能的质量流量计；

——温度传感器；

——压力传感器；

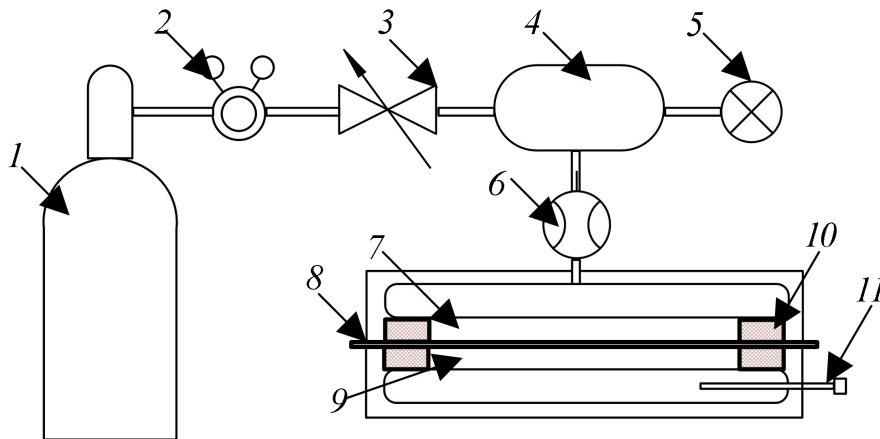


图1 测量装置示意图

1. 气瓶，2. 减压阀，3. 阀门，4. 气体稳压容器，5. 压力传感器，6. 质量流量计，7. 高压测试腔，8. 替代隔离元件，9. 低压测试腔，10. 密封元件，11 温度传感器

18.2 样品制备

18.2.1 样品的形状和尺寸应由测试方和样品供应方协商确定。样品供应方或测试方具备双极板及与其配套的电池夹具和密封线；

18.2.2 为防止阴阳极来自膜电极组件的窜气，假电池可采用不透气塑料隔离元件代替；

18.2.3 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；

18.2.4 对于不同批次的密封元件，应分别抽样；单一材料随机抽样，不同材料分别抽样。

18.3 测试方法

18.3.1 将密封元件装入具有气体进口和出口的不锈钢夹具之间，使两侧形成气室，组装假电池；

18.3.2 采用均匀压力将假电池压紧，使得密封元件的压缩率与真实电池相同，保证装配精度，防止上下密封元件错位；

18.3.3 如果确定在非标准实验室温度下进行测试，需将假电池调节到规定试验温度；

18.3.4 堵住电池阴极的入口、出口以及阳极的出口，向阳极的入口通入一定压力的测试气体(如 H_2 或 He)，测试气体压力可采用实际电池运行时的阴阳气腔压力差，或者供需双方协商的其他压力，推荐测试气体压力 ≤ 2 bar(G)，压力通过两侧精密压力表来控制；

18.3.5 如果气腔充气过慢，可在质量流量计设置快速充气支路，待气腔压力稳定在设定压力后，关闭快速充气支路。采用质量流量计测试此时的气体透过量，待示数稳定3分钟后，记录后续1分钟的流量变化。

18.4 数据处理

18.4.1 用下式计算密封元件单位时间、单位面积的气体透过率

$$C=q/S$$

式中：

C ——单位时间、单位面积的密封元件气体透过量，单位为毫升每平方厘米每分钟($ml / (cm^2 \cdot min)$)；

q ——单位时间的气体透过量，单位为毫升每分钟(ml/min)；

S ——假电池的有效测试面积，单位为平方厘米(cm^2)。

18.4.2 测试不同压力差(ΔP)下的密封元件透气率，绘制 ΔP 与透气率的关系曲线；

注：取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

19 试验准备及试验报告

试验准备参见附录 A，试验报告参加附录 B

附录 A

(资料性)

测试设备

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) 测试目的
- b) 测试规范
- c) 测试人员资格
- d) 质量保证标准（符合 ISO9000 和相关测试标准）
- 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
- 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)

密封元件试验报告的注意事项

B.1 概述

根据关注的性能，可以选做相关的测试项目，出具相关的测试报告。如果需要对密封元件的全面性能评估，则报告应该包含各项测试所有的数据。

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该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：

- 标准代号；
- 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该提供一个目录。

B.3 报告类型

B.3.1 摘要式报告

摘要式报告应包含下列各项数据：

- 试验的目的；
- 试验的种类，仪器和设备；

T/CAAMTB XX—XXXX

- 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。

附录 A 中给出了摘要式报告的范例。

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，还应包含下列各项数据：

- 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

完整式报告除包含详细式报告的内容外，还应有原始数据的副本，此外还应包含下列各项：

- 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。

附录 C

(资料性)

密封制品使用时的注意事项

已在燃料电池中使用过的密封制品，拆卸后不宜继续使用。否则会影响使用寿命，甚至可能由于密封制品表面的微观变形而导致渗漏。

密封制品应避免与尖锐部件、边沿接触，否则容易割伤密封制品。

与密封制品接触的表面应平整、光滑，不应存在毛刺、凹坑、贯穿性划痕等缺陷。

密封制品在燃料电池中完成装配以后不宜在压缩状态下进行高温处理，否则会影响密封制品的使用寿命。

在保证密封的情况下，压缩率应尽量取较小值，其中硅橡胶最大压缩率不宜超过 40%，三元乙丙橡胶的最大压缩率不宜超过 35%。压缩率过大会缩短密封制品的使用寿命，同时增加早期损坏的概率。
