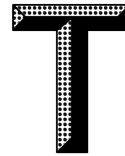


ICS 19.020  
CCS D 10



团 体 标 准

T/CI 1078—2025

# 碱性电解水复合隔膜测试方法

Testing method for alkaline electrolysis water composite membrane

2025-07-01 发布

2025-07-01 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 术语和定义 .....	1
4 试验准备与条件 .....	2
4.1 实验仪器 .....	2
4.2 试验条件 .....	2
5 测试项目 .....	2
6 测试方法 .....	2
6.1 外观 .....	2
6.2 厚度 .....	3
6.3 厚度偏差 .....	4
6.4 克重 .....	5
6.5 体积密度 .....	5
6.6 溶剂残留 .....	5
6.7 孔径分布 .....	5
6.8 孔隙率 .....	5
6.9 透气率 .....	5
6.10 起泡点压力 .....	5
6.11 泡点变化率 .....	5
6.12 拉伸强度 .....	7
6.13 剥离强度 .....	8
6.14 质量损失率 .....	9
6.15 尺寸变化率 .....	11
6.16 接触角 .....	11
6.17 面电阻 .....	12
6.18 原位耐久性 .....	13
7 试验报告 .....	14

## 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。

本文件由清华大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：清华大学、北京元泰能材科技有限公司、氢材科技(淮安)有限公司、上海氢器时代科技有限公司、中车株洲电力机车研究所有限公司综合能源事业部、中船(邯郸)派瑞氢能科技有限公司、大连理工大学成都研究院、天津市大陆制氢设备有限公司、阳光氢能科技有限公司、中车山东风电有限公司、双良节能系统股份有限公司、内蒙古新远景集团有限公司、西安航天华阳机电装备有限公司、无锡隆基氢能科技有限公司、中石油深圳新能源研究院有限公司、中国石油天然气管道工程有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、上海电气集团股份有限公司中央研究院、宝鸡石油机械有限责任公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中石化氢能机械(武汉)有限公司、山东蓝拓氢能科技有限公司、苏州市氢能产业创新中心有限公司、苏州东福来机电科技有限公司、三一氢能有限公司、无锡华光环保能源集团股份有限公司、苏州希倍优氢能源科技有限公司、海德氢能源科技(江苏)有限公司、北京中电丰业技术开发有限公司、山东奥氢动力科技有限公司、江苏天合元氢科技有限公司、浙江昊臻氢能有限公司、青骊骥中能(江苏苏州)氢能源科技有限公司、安徽氢宇新能源科技有限公司、天津大学、天津工业大学、北京化工大学机电工程学院、五邑大学、沧州工苑新型膜材料有限公司、Agfa Gevaert NV、广东冠豪新材料研发有限公司、氢和元泰(常州)新材料科技有限公司、江苏氢导智能装备有限公司、中汽院新能源科技有限公司、北京市产品质量监督检验研究院、中石化上海工程有限公司、中石化炼化工程(集团)股份有限公司、国能氢创科技(北京)有限责任公司、惠生工程(中国)有限公司、上海河图工程股份有限公司、液化空气(杭州)有限公司、液化空气(中国)研发有限公司、北京绿氢科技发展有限公司、氢合元泰(鄂尔多斯)科技有限公司。

本文件主要起草人：杨福源、马炬刚、赵英朋、相鹏伟、吴亮、梁长海、文宇良、薛贺来、李桂真、孙龙林、陈亚丰、焦凤飞、李堃、焦乐、陈明、赵立前、王金意、郑书红、李靖泽、高阳、徐林、张伟、袁丹、顾全斌、陈桂敏、姚昌晟、王鹏、柯阳、卞铁铮、高书、余智勇、黄尚力、张文、苏坤梅、周俊波、邹鹏、颜景华、William Wang、奎明红、李洋洋、梁聪、毛占鑫、王雪琪、师敬伟、黄孟旗、张珑慧、杨继海、张勇、孙连明、宗兆旺、张洪杰、李魁立、邢伟、党健、邓欣涛、刘颖辉、郭井生、夏文杰、高翔、金翠红、闵洛夫、李洪涛、任志博、田宏昌、王健、饶洪宇、古俊杰、潘磊、江亚阳、刘超、王广、许莉、杨谢威、夏一帆、王立钢、史伟涛、陆中皓、左博宇、蒋吾伟、吴梦南、石磊。

# 碱性电解水复合隔膜测试方法

## 1 范围

本文件规定了碱性电解水复合隔膜的外观、结构、力学性能、电化学性能的测试要求与测试方法。

本文件适用于以有机、无机材料复合的碱性电解水制氢隔膜。其他形式的碱性电解水制氢隔膜可参照本文件执行。

**警示**——使用本标准的人员应有正规实验室工作的实践经验。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施,并保证符合国家有关法规规定的条件。

## 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 451.2—2023 纸和纸板 第2部分:定量的测定

GB/T 451.3—2002 纸和纸板厚度的测定

GB/T 1038.1 塑料制品 薄膜和薄片 气体透过性试验方法 第1部分:差压法

GB/T 1040(所有部分) 塑料 拉伸性能的测定

GB/T 4167 砝码

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 19774 水电解制氢系统技术要求

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 32361 分离膜孔径测试方法 泡点和平均流量法

GB/T 45092—2024 电解水制氢用性能测试与评价

SN/T 3180 食品接触材料 高分子材料 塑料薄膜中残留溶剂的测定 气相色谱法

YY/T 0282 注射针

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**泡点变化率 bubble point change rate**

复合隔膜在弯折、浸碱后的起泡点压力变化值与初始起泡点压力的比值。

### 3.2

**剥离强度 peel strength**

复合隔膜涂层被胶带剥离基材的力与剥离长度的比值。

### 3.3

**质量损失率 quality loss rate**

复合隔膜在摩擦、超声震荡、浸入氢氧化钾溶液实验后损失的质量与原质量的比值。

## 3.4

**面电阻 area resistance**

复合隔膜在氢氧化钾溶液中的电阻值与测试面积的乘积,以欧姆·平方厘米( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )表示。

## 4 试验准备与条件

## 4.1 实验仪器

- 4.1.1 厚度计应符合 GB/T 451.3—2002 中第 5 章的要求。  
 4.1.2 油浴锅控温范围最高温度不低于 110 °C,精度为  $\pm 1$  °C。  
 4.1.3 烘箱控温范围最高温度不低于 105 °C,精度为  $\pm 1$  °C。  
 4.1.4 万能试验机应符合 GB/T 1040(所有部分)中的要求。  
 4.1.5 天平精度不低于 0.001 g。

## 4.2 试验条件

应在温度为  $(25 \pm 2)$  °C,相对湿度为  $(50 \pm 10)$  % 的环境下进行试验。

试样应按下列条件进行状态调节:

- a) 温度:  $(25 \pm 2)$  °C;  
 b) 相对湿度:  $(50 \pm 10)$  %;  
 c) 状态调节时间:不少于 12 h。

## 5 测试项目

测试项目及对应的测试方法汇总见表 1。

表 1 测试项目汇总表

序号	测试项目	章条号	序号	测试项目	章条号
1	外观	6.1	10	起泡点压力	6.10
2	厚度	6.2	11	泡点变化率	6.11
3	厚度偏差	6.3	12	拉伸强度	6.12
4	克重	6.4	13	剥离强度	6.13
5	体积密度	6.5	14	质量损失率	6.14
6	溶剂残留	6.6	15	尺寸变化率	6.15
7	孔径分布	6.7	16	接触角	6.16
8	孔隙率	6.8	17	面电阻	6.17
9	透气率	6.9	18	原位耐久性	6.18

## 6 测试方法

## 6.1 外观

## 6.1.1 仪器设备

灯箱光源:长 1 200 mm,宽 300 mm,功率 48 W,亮度为 1 000 lx~1 500 lx。

## 6.1.2 试验方法

外观应按照下列方法进行试验：

- a) 检测试样尺寸应尽可能大于或等于灯箱光源的尺寸,试样未能覆盖光源时,应对未覆盖部分进行遮挡,以保证检测结果准确;
- b) 观察者眼睛距离试样约为 0.5 m,采用目测方法进行观察。

## 6.1.3 试验数据处理

对照产品详细规范要求对褶皱、横纹、划伤、异物、亮点、漏网等缺陷进行判定。

## 6.2 厚度

### 6.2.1 干态厚度

#### 6.2.1.1 试剂

去离子水:满足 GB/T 6682 要求的三级水。

#### 6.2.1.2 仪器设备

厚度计和烘箱应符合 4.1 的要求。

#### 6.2.1.3 试验方法

干态厚度应按照下列方法进行试验：

- a) 将复合隔膜裁制成 100 mm×100 mm 的试样 3 张;
- b) 将试样放入 100 °C 的烘箱内干燥,2 h 后取出;
- c) 采用恒定荷重的方法,测量处理后的试样任意两个对角及一个中间部位的厚度,测量过程中测量面的压力应为(100±10)kPa,确保两测量面间压力均匀。

#### 6.2.1.4 试验数据处理

取所得 9 次的干态厚度测量值的算术平均值作为干态厚度测试结果,并将测试结果修约至 5 μm。

### 6.2.2 湿态厚度

#### 6.2.2.1 试剂

去离子水:满足 GB/T 6682 要求的三级水。

#### 6.2.2.2 仪器设备

厚度计和烘箱应符合 4.1 的要求。

#### 6.2.2.3 试验方法

湿态厚度应按照下列方法进行试验：

- a) 将复合隔膜裁制成 100 mm×100 mm 的试样 3 张;
- b) 将试样浸入温度为(25±2)°C 的去离子水中,12 h 后取出,用滤纸吸去表面残留液体;
- c) 采用恒定荷重的方法,测量处理后的试样任意两个对角及一个中间部位的厚度,测量过程中测量面的压力应为(100±10)kPa,确保两测量面间压力均匀。

### 6.2.2.4 试验数据处理

取所得 9 次的湿态厚度测量值的算术平均值作为湿态厚度测试结果,并将测试结果修约至 5 μm。

## 6.3 厚度偏差

### 6.3.1 试验方法

应按照图 1 所示的位置点测量试样的厚度偏差,沿横向方向每隔 100 mm 取一个测试点,横向  $n$  个数据为一组,不满 400 mm 宽幅的不少于 5 个点,在纵向方向上每隔 100 mm 测一组,共测试 3 组。

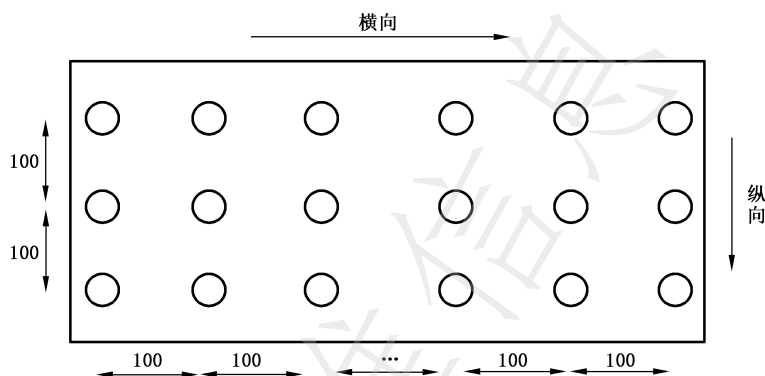


图 1 厚度偏差测试示意图

### 6.3.2 试验数据处理

#### 6.3.2.1 厚度标准差

厚度标准差应按照公式(1)进行计算:

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

式中:

- $\sigma$  —— 试样的厚度标准差,单位为微米(μm);
- $\bar{d}$  —— 试样的厚度平均值,单位为微米(μm);
- $d_i$  —— 第  $i$  次测试厚度,单位为微米(μm);
- $n$  —— 厚度测试次数。

#### 6.3.2.2 厚度平均值偏差

厚度平均值偏差应按照公式(2)进行计算:

$$\Delta \bar{d} = \bar{d} - d_0 \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- $\Delta \bar{d}$  —— 试样的厚度平均值偏差,单位为微米(μm);
- $\bar{d}$  —— 试样的厚度平均值,单位为微米(μm);
- $d_0$  —— 试样的厚度标称值,单位为微米(μm)。

#### 6.3.2.3 厚度极限值偏差

厚度极限值偏差应按照公式(3)进行计算:

$$\Delta d = d_{\min \text{ 或 } \max} - d_0 \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- $\Delta d$  —— 试样的厚度极限偏差,单位为微米( $\mu\text{m}$ )；  
 $d_{\text{min或max}}$  —— 试样的实测最小或最大厚度,单位为微米( $\mu\text{m}$ )；  
 $d_0$  —— 试样的厚度标称值,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

#### 6.4 克重

将试样放入 100 °C 的烘箱内干燥,2 h 后取出,按照 GB/T 451.2—2023 中 8.1 的要求进行测量。

#### 6.5 体积密度

体积密度应按照公式(4)进行计算,结果修约至 0.01 g/cm<sup>3</sup>。

$$D = \frac{G}{d} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- $D$  —— 试样的体积密度,单位为克每立方厘米(g/cm<sup>3</sup>)；  
 $G$  —— 试样的克重,单位为克每平方米(g/m<sup>2</sup>)；  
 $d$  —— 试样的厚度,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

注：试样厚度与克重分别参照 6.2.1 与 6.4 进行测量。

#### 6.6 溶剂残留

应按照 SN/T 3180 的要求进行试验和计算。

#### 6.7 孔径分布

应按照 GB/T 21650.1 的要求进行试验和计算。

#### 6.8 孔隙率

应按照 GB/T 21650.1 的要求进行试验和计算。

#### 6.9 透气率

应按照 GB/T 1038.1 的要求进行试验和计算。

#### 6.10 起泡点压力

应按照 GB/T 32361 的要求进行试验,试验仪器设备选用平板膜泡点测试简易装置。

#### 6.11 泡点变化率

##### 6.11.1 弯折泡点变化率

##### 6.11.1.1 仪器设备

应按照下列要求准备仪器设备：

- a) 泡点测试装置:应符合 GB/T 32361 的要求；
- b) 砝码:应符合 GB/T 4167 的要求。

##### 6.11.1.2 试验方法

弯折泡点变化率应按照下列方法进行试验。

- a) 复合隔膜测试状态可选择干态或湿态。干态处理方式:将试样放入 100 °C 的烘箱内干燥 2 h; 湿态处理方式:将试样浸入温度为 (25±2)°C 的去离子水中 12 h。
- b) 参照 6.10 裁切试样 6 张,取出 3 张测试起泡点压力,取平均值为  $P_1$ 。
- c) 将剩余的试样沿中心线对折,置于不锈钢平台,如图 2a)所示。
- d) 使用 5 kg 砝码且与被测试样接触面的面积大于被测试样面积,压在对折试样上,砝码下放过程中轻拿轻放,直至弯曲 180°并保持 10 秒,如图 2b)所示。
- e) 将弯折后的试样 3 张,按照 6.10 测试起泡点压力,取平均值为  $P_2$ 。

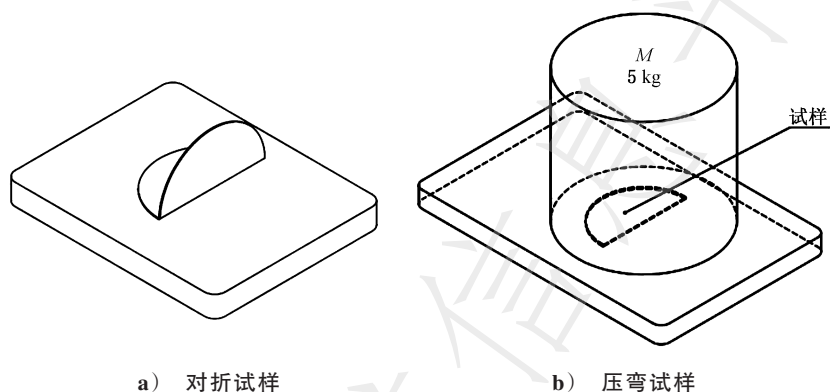


图 2 弯折测试示意图

### 6.11.1.3 试验数据处理

弯折泡点变化率应按照公式(5)计算。

$$\Delta P_B = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- $\Delta P_B$  —— 试样的弯折泡点变化率;
- $P_1$  —— 弯折前试样的起泡点压力的平均值,单位为巴(bar);
- $P_2$  —— 弯折后试样的起泡点压力的平均值,单位为巴(bar)。

### 6.11.2 浸碱泡点变化率

#### 6.11.2.1 试剂

应按照下列要求准备试剂:

- a) 氢氧化钾溶液:分析纯,质量浓度 30%;
- b) 酚酞指示剂:采用化学纯酚酞配制成的 1% 乙醇溶液。

#### 6.11.2.2 仪器设备

泡点测试装置:应符合 GB/T 32361 的要求。

#### 6.11.2.3 试验方法

浸碱泡点变化率应按照下列方法进行试验:

- a) 参照 6.11 裁切试样 6 张,取出 3 张测试起泡点压力,取平均值为  $P_3$ ;
- b) 将剩余试样浸入温度为 110 °C 的氢氧化钾溶液,500 h 后取出用去离子水将试样洗涤至中性;  
注:酸碱度采用酚酞指示剂检查。

c) 将洗至中性的试样参照 6.11 测试起泡点压力,取平均值为  $P_4$ 。

#### 6.11.2.4 试验数据处理

浸碱泡点变化率应按照公式(6)计算。

$$\Delta P_A = \frac{P_3 - P_4}{P_3} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\Delta P_A$  —— 试样的浸碱泡点变化率;

$P_3$  —— 浸碱前试样的起泡点压力的平均值,单位为巴(bar);

$P_4$  —— 浸碱后试样的起泡点压力的平均值,单位为巴(bar)。

### 6.12 拉伸强度

#### 6.12.1 仪器设备

万能试验机和厚度计应符合 4.1 的要求。

#### 6.12.2 试验方法

##### 6.12.2.1 一般要求

应按照 GB/T 1040 的要求,使用下列方法进行试验:

- 沿横向和纵向分别将复合隔膜裁制成 150 mm × 15 mm 的试样各 3 张;
- 用厚度计在试样中部测试厚度,测量三个不同的位置,取平均值作为试样的平均厚度  $d$ ;
- 将试样放到夹具中,试样的长轴线与试验机的轴线成一条直线,试样上下固定在夹具的位置距两端距离相近,保证试样长轴线中心点固定在夹具初始距离 50 mm 处;
- 夹具的初始距离为 100 mm,测试速度为 100 mm/min,启动试验机开始进行测试,得出隔膜横向和纵向断裂的最大拉伸力  $F_{TD}$  和  $F_{MD}$ 。

##### 6.12.2.2 试验数据处理

应按照公式(7)计算隔膜横向拉伸强度。

$$\sigma_{TD} = \frac{F_{TD}}{A_{TD}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$\sigma_{TD}$  —— 试样的横向拉伸强度,单位为兆帕(MPa);

$F_{TD}$  —— 试样的横向最大拉伸力,单位为牛(N);

$A_{TD}$  —— 试样的横向初始横截面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

应按照公式(8)计算隔膜纵向拉伸强度。

$$\sigma_{MD} = \frac{F_{MD}}{A_{MD}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$\sigma_{MD}$  —— 试样的纵向拉伸强度,单位为兆帕(MPa);

$F_{MD}$  —— 试样的纵向最大拉伸力,单位为牛(N);

$A_{MD}$  —— 试样的纵向初始横截面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

注: 初始横截面积为试样平均厚度 × 试样短轴宽度,本试验方法中短轴宽度为 15 mm。

### 6.13 剥离强度

#### 6.13.1 仪器设备

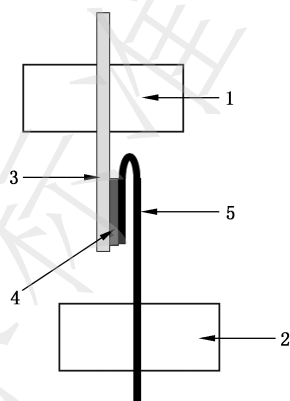
应按下列要求准备仪器设备：

- a) 万能试验机:应符合本文件 4.1 的要求；
- b) 支持体:厚度>0.5 mm 的钢板,表面光滑平整,长度>150 mm,宽度>25 mm；
- c) 测试胶带:粘性不低于(0.4±0.05)N/mm、宽度为(15±0.1)mm 的双面胶带。

#### 6.13.2 试验方法

剥离强度应按照下列方法进行试验,见图 3:

- a) 将复合隔膜裁制成 150 mm×15 mm 的试样 3 张,裁切 50 mm 长度的双面胶粘到支持体上,然后沿支持体长度方向,将裁好的试样粘到双面胶中央,用手轻轻按压使试样与双面胶完全贴合,完成后将试样自由端对折 180°,用刀具剥开粘合面约 5 mm~10 mm；
- b) 将支持体一端夹在上夹具上,试样自由端夹在下夹具上,夹好的样条需确保在一条垂直线上,测试速度选用 100 mm/min,有效剥离长度  $l$  为 30 mm；
- c) 启动万能试验机进行拉伸测试,得出涂层与基材之间的剥离力  $F$ 。



标引序号说明:

- 1——上夹具；
- 2——下夹具；
- 3——支持体；
- 4——测试胶带；
- 5——试样。

图 3 剥离强度测试示意图

#### 6.13.3 试验数据处理

剥离强度应按照公式(9)计算,取所得 3 次剥离强度的算术平均值作为测试结果。

$$\tau = \frac{F}{l} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- $\tau$  —— 试样的剥离强度,单位为牛每毫米(N/mm)；
- $F$  —— 试样的剥离力,单位为牛(N)；
- $l$  —— 试样的剥离长度,单位为毫米(mm)。

## 6.14 质量损失率

### 6.14.1 磨耗质量损失率

#### 6.14.1.1 仪器设备

钢丝绒耐磨擦试验机:型号为 339-GSR。

#### 6.14.1.2 试验方法

磨耗质量损失率应按照下列方法进行试验:

- 将复合隔膜裁制成 100 mm×100 mm 的试样 3 张;
- 将试样放入 100 °C 的烘箱内干燥 2 h 后,取出称量其干态质量  $W_1$ ;
- 将试样固定在试验机上,选用 10 mm×10 mm 的摩擦锤,用自锁式扎带将 0000#钢丝绒固定在摩擦锤下方,在摩擦锤上方配置 500 g 的砝码提供摩擦压力;
- 使摩擦锤与钢丝绒垂直接触水平固定放置的试样表面,以 50 次/min(一个往复为一次)的频率,在试样表面同一区域范围内,水平直线往复移动摩擦锤,单向距离 60 mm,运行 10 min;
- 试验结束后放入 100 °C 烘箱内干燥 2 h,取出称量其干态质量  $W_2$ 。

#### 6.14.1.3 试验数据处理

磨耗质量损失率应按照公式(10)计算,取所得 3 次磨耗质量损失率的算术平均值作为测试结果。

$$E_F = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- $E_F$  —— 试样的磨耗损失率;
- $W_1$  —— 磨耗前试样的干态质量,单位为克(g);
- $W_2$  —— 磨耗后试样的干态质量,单位为克(g)。

## 6.14.2 超声质量损失率

### 6.14.2.1 试剂

去离子水:满足 GB/T 6682 要求的三级水。

### 6.14.2.2 仪器设备

应按照下列要求准备试验仪器:

- 超声波振荡机:超声频率最高不低于 40 kHz,超声功率最高不低于 240 W,控温范围最高温度不低于 60 °C,控温精度为 ±1 °C;
- 烘箱:应符合 4.1 的要求;
- 天平:应符合 4.1 的要求。

### 6.14.2.3 试验方法

超声质量损失率应按照下列方法进行试验:

- 将复合隔膜裁成 100 mm×100 mm 的试样 3 张;
- 将试样放入 100 °C 的烘箱内干燥 2 h 后,取出称量其干态质量  $W_3$ ;
- 将试样放入超声波振荡机的正中间,并且将隔膜固定(如图 4),在频率为 40 kHz,功率为 240 W、

温度为 60 ℃ 的条件下超声 30 min 后放入 100 ℃ 烘箱内干燥 2 h, 取出称量其干态质量  $W_4$ 。

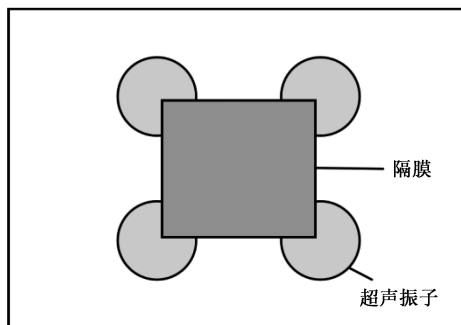


图 4 试样放置示意图

#### 6.14.2.4 试验数据处理

超声质量损失率应按照公式(11)进行计算, 取 3 次超声质量损失率的算术平均值为测试结果。

$$E_U = \frac{W_3 - W_4}{W_3} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

$E_U$  —— 试样的超声质量损失率;

$W_3$  —— 超声前试样的干态质量, 单位为克(g);

$W_4$  —— 超声后试样的干态质量, 单位为克(g)。

#### 6.14.3 浸碱质量损失率

##### 6.14.3.1 试剂

应按照下列要求准备试剂:

- a) 氢氧化钾溶液: 分析纯, 质量浓度 30%;
- b) 酚酞指示剂: 采用化学纯酚酞配制成的 1% 乙醇溶液。

##### 6.14.3.2 仪器设备

烘箱、油浴锅、天平应符合 4.1 的要求。

##### 6.14.3.3 试验方法

浸碱质量损失率应按照下列方法进行试验:

- a) 将复合隔膜裁成 100 mm × 100 mm 的试样 3 张;
- b) 将试样放入 100 ℃ 的烘箱内干燥 2 h 后, 取出称量其干态质量  $W_5$ ;
- c) 将试样浸入温度为 110 ℃ 的氢氧化钾溶液, 120 h 后取出用去离子水将试样洗涤至中性;

注: 酸碱度采用酚酞指示剂检查。

- d) 将洗至中性的试样放入温度为 100 ℃ 的烘箱内烘干 2 h, 然后在天平上称量其干态质量  $W_6$ 。

##### 6.14.3.4 试验数据处理

浸碱质量损失率应按照公式(12)进行计算, 取 3 次浸碱质量损失率的算术平均值为测试结果。

$$E_A = \frac{W_5 - W_6}{W_5} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中：

$E_A$  ——试样的浸碱质量损失率；

$W_5$  ——浸碱前试样的质量,单位为克(g)；

$W_6$  ——浸碱后试样的质量,单位为克(g)。

## 6.15 尺寸变化率

### 6.15.1 试剂

去离子水:满足 GB/T 6682 要求的三级水。

### 6.15.2 仪器设备

应按照下列要求准备仪器设备：

- 油浴锅和烘箱应符合 4.1 的要求；
- 卡尺:精度不低于 0.01 mm。

### 6.15.3 试验方法

尺寸变化率应按照下列方法进行试验：

- 将复合隔膜裁制成 200 mm×200 mm 的试样 3 张；
- 将试样浸入温度为(25±2)℃的去离子水中,12 h 后取出,用滤纸吸去表面残留液体,用卡尺测量纵向和横向的初始长度( $L_0$ 和  $T_0$ )；
- 将试样放置于加热至 100℃的水中,60 min 后将试样取出,再将试样放入 100℃的烘箱内烘干 2 h,用卡尺测量试样纵向和横向的热处理后长度( $L$ 和  $T$ )。

### 6.15.4 试验数据处理

尺寸变化率应按照公式(13)、公式(14)计算,取所得 3 次尺寸稳定性的算术平均值作为测试结果。

$$\Delta L = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中：

$\Delta L$  ——试样的纵向尺寸变化率；

$L_0$  ——试样的纵向初始长度,单位为毫米(mm)；

$L$  ——试样的纵向热处理后长度,单位为毫米(mm)；

$$\Delta T = \frac{T - T_0}{T_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中：

$\Delta T$  ——试样的横向尺寸变化率；

$T_0$  ——试样的横向初始长度,单位为毫米(mm)；

$T$  ——试样的横向热处理后长度,单位为毫米(mm)。

## 6.16 接触角

### 6.16.1 试剂

去离子水:满足 GB/T 6682 要求的三级水。

### 6.16.2 仪器设备

应按照下列要求准备仪器设备：

- 接触角测量仪：测定范围  $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ，分辨率  $0.1^{\circ}$ ，测定精度  $\pm 1^{\circ}$ ，视频拍摄不少于 2 帧/s；
- 注射器：满足 YY/T 0282 要求，针头直径为 0.5 mm 和 0.9 mm。

### 6.16.3 试验方法

接触角应按照下列方法进行试验：

- 将复合隔膜裁成  $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$  的试样 3 张，并放入  $100^{\circ}\text{C}$  的烘箱内干燥 2 h；
- 检查聚焦，选取与待测试样厚度相同的试样，在其表面中央滴一体积大约为  $4\ \mu\text{L}$  的水滴，调节摄像系统，使针头、水滴轮廓在接触角测试仪中的成像清楚；
- 将试样待测表面向上放置在接触角测试仪的试验台上，调整试样台高度，使水滴体积约  $4\ \mu\text{L}$  时能够与待测试样表面接触而脱离针头，并在试样表面形成座滴，用接触角测定仪将座滴的形成及座滴的铺展以不小于 2 帧/s 的速度拍摄成照片或视频。

### 6.16.4 试验数据处理

6.16.4.1 坐滴稳定时，截取视频中的照片，用球形计算法计算其接触角，取 3 组数据的算术平均值作为试样的静态接触角，取小数点后 2 位有效数字。

6.16.4.2 坐滴迅速浸润时，根据视频记录坐滴浸润的时间，取 3 组数据的算术平均值作为试样的浸润时间，取小数点后 1 位有效数字。

## 6.17 面电阻

### 6.17.1 试剂

氢氧化钾溶液：分析纯，质量浓度 30%。

### 6.17.2 仪器设备

应按照下列要求准备仪器设备。

- 交流低阻仪：频率范围为  $1\ \text{kHz}\sim 100\ \text{kHz}$ ，电压为  $0.5\ \text{V}$ 。振幅范围为  $50\ \text{mV}$ 。
- 高低温循环槽：控温范围最高温度不高于  $100^{\circ}\text{C}$ ，控温精度为  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。需耐碱腐蚀。
- 电阻试验装置：见图 5，所有材料均需耐碱腐蚀，上下镍电极端面为面积  $10\ \text{cm}^2$  的圆。碱液入口与出口连接高低温循环槽，可循环碱液。

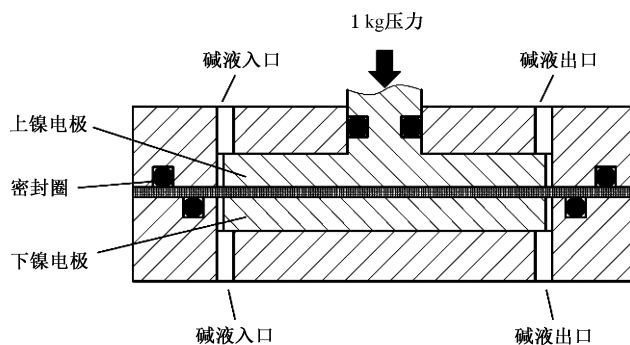


图 5 电阻试验装置

### 6.17.3 试验方法

面电阻应按照下列方法进行试验。

- 将复合隔膜裁制成比测试电极尺寸略大的试样,共3张。
- 将试样放入温度为 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的氢氧化钾溶液中浸泡4 h。
- 调节上镍电极,使上镍电极与下镍电极接触,对上镍电极施加1 kg压力。打开高低温循环槽,碱液温度典型值选择 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $80^{\circ}\text{C}$ ,使碱液在电阻试验装置中循环10 min。将上下电极分别接通至交流低阻仪正负测试夹,读取相位为0时的电阻值 $R_1$ 。
- 将测试隔膜放置在上下镍电极中间,对上镍电极施加1 kg压力。碱液温度典型值选择 $30^{\circ}\text{C}$ 、 $80^{\circ}\text{C}$ ,使碱液在电阻试验装置中循环10 min。将上下电极分别接通至交流低阻仪正负测试夹,测得试样的电阻值 $R_2$ 。保持 $R_1$ 和 $R_2$ 测试时碱液温度一致。

### 6.17.4 试验数据处理

面电阻应按照公式(15)计算,取所得3次面电阻的算术平均值作为测试结果。

$$R = (R_2 - R_1) \times S \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

- $R$  —— 试样的面电阻,单位为欧姆平方厘米( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ );
- $R_1$  —— 试验装置的本体电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );
- $R_2$  —— 试验装置的本体和试样的电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );
- $S$  —— 电极的有效面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ )。

## 6.18 原位耐久性

### 6.18.1 试剂

氢氧化钾溶液:分析纯,质量浓度30%。

### 6.18.2 仪器设备

按照 GB/T 45092—2024 中附录 B:电解槽的结构和安装要求。为保证电解槽的稳定性,阴极和阳极均选用 0.25 mm 线径、46 目纯镍斜纹编织丝网。气体纯度检测要求应满足 GB/T 19774 的要求。

### 6.18.3 试验方法

原位耐久性应按照下列方法进行试验。

- 开机预热:开始测试前10 min,开通恒流电源预热。
- 测试参数设置:电流依据隔膜有效面积和电流密度设置,电解电流密度典型值( $J$ )选择 $3\,000\text{ A/m}^2$ 、 $5\,000\text{ A/m}^2$ 、 $8\,000\text{ A/m}^2$ 、 $10\,000\text{ A/m}^2$ ;采样时间为70 h~72 h和570 h~572 h;采样间隔为30 s。
- 调节阴、阳极出液口阀门保持两极气压动态平衡,气体压强为常压。
- 启动电解,记录采样时间段内电解槽电压 $V$ 和氧中氢浓度 $C_{\text{HTO}}$ 。

### 6.18.4 试验数据处理

电解电压变化率和氧气纯度变化率分别按照公式(16)、公式(17)计算。

$$\Delta V = \frac{V_2 - V_1}{500} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$\Delta V$ ——试样的电解电压变化率,单位为微伏特每小时( $\mu V/h$ );

$V_1$ ——70 h~72 h 测试时间段内电解槽电压的平均值,单位为伏特(V);

$V_2$ ——570 h~572 h 测试时间段内电解槽电压的平均值,单位为伏特(V)。

$$\Delta C_{HTO} = \frac{C_2 - C_1}{500} \dots\dots\dots(17)$$

式中：

$\Delta C_{HTO}$ ——试样的氧中氢浓度变化率, $\%/h$ ;

$C_1$ ——70 h~72 h 测试时间段内氧中氢浓度的平均值, $\%$ ;

$C_2$ ——570 h~572 h 测试时间段内氧中氢浓度的平均值, $\%$ 。

## 7 试验报告

试验报告应包括以下主要内容：

- a) 说明试验是按照本文件进行的；
  - b) 试样的名称和规格,试样的编号等；
  - c) 试验日期和环境条件；
  - d) 测试结果；
  - e) 偏离本文件和可能影响结果的任何情况。
-