

# T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

## 低空飞行器电池隔膜低气压性能测试方法

Test method for low-pressure performance of battery separators for low-altitude  
flying vehicles

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试验原理 .....	1
5 试验工况设定 .....	1
5.1 标准大气条件 .....	1
5.2 气压-海拔对应设定 .....	2
5.3 温度工况设定 .....	2
5.4 保压时间 .....	2
6 试验仪器 .....	2
7 试样要求 .....	2
8 测试方法 .....	2
8.1 初始性能测试 .....	2
8.2 低气压处理 .....	3
8.3 恢复 .....	3
8.4 处理后性能测试 .....	3
9 数据处理与结果判定 .....	3
9.1 外观 .....	3
9.2 尺寸变化率 .....	3
9.3 透气度变化率 .....	3
9.4 孔隙率变化率 .....	3
9.5 拉伸强度保留率 .....	4
9.6 热收缩率变化率 .....	4
9.7 电气强度保留率 .....	4
10 测试报告 .....	4

# 低空飞行器电池隔膜低气压性能测试方法

## 1 范围

本文件规定了低空飞行器电池隔膜在低气压环境下的性能测试方法,包括试验原理、试验工况设定、试验仪器、试样要求、测试方法、数据处理与结果判定、测试报告等内容。

本文件适用于低空飞行器电池隔膜(以下简称“隔膜”)在低气压工况下的性能测试。

## 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 13542.2 电气绝缘用薄膜 第2部分:试验方法

GB/T 36363 锂离子电池用聚烯烃隔膜

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**低空飞行器 low-altitude flying vehicles**

主要在近地空域(0~5000m)开展飞行作业的民用电动飞行器,包括但不限于多旋翼无人机、固定翼无人机、eVTOL、低空物流配送飞行器等。

### 3.2

**透气度 airpermeability**

在测试温湿度、常压环境中,在1.21kPa压力下,100ml空气通过面积为6.45cm<sup>2</sup>隔膜所需要的时间,又称Gurley值。

### 3.3

**孔隙率 porosity**

隔膜内部孔隙的体积占隔膜总体积的百分率。

## 4 试验原理

利用低气压试验箱模拟低空飞行器巡航、爬升、高空滞留过程中的气压环境,在设定低气压稳态条件下,测试隔膜外观、尺寸变化、透气度、孔隙率、拉伸强度、热收缩率等关键指标,评估低气压环境对隔膜结构与电化学适配性能的影响,判定隔膜低空飞行工况适配性与安全可靠。

## 5 试验工况设定

### 5.1 标准大气条件

若无特殊规定,测试应在以下环境进行:

## T/CWDPA XXX—XXXX

- a) 温度：23℃±2℃；
- b) 相对湿度：50%±10%；
- c) 气压：101.3kPa。

### 5.2 气压-海拔对应设定

气压-海拔对应工况设定可参照下列要求：

- a) 常规巡航工况：模拟低空飞行器常用巡航海拔 3000m，对应大气压力 70.1kPa；
- b) 低空极限工况：模拟低空飞行器最大飞行海拔 5000m，对应大气压力 54.0kPa；
- c) 特殊需求工况：若特定型号低空飞行器的实际飞行包线有明确海拔要求，可按实际海拔对应的气压值自定义设定。

### 5.3 温度工况设定

温度工况设定可参照下列要求：

- a) 常温低气压工况：试验温度 23℃±2℃，模拟常温环境下的低空飞行场景；
- b) 高温耦合低气压工况：试验温度 60℃±2℃，模拟飞行器高空阳光直射、电池发热耦合的高温低气压场景；
- c) 低温耦合低气压工况（可选）：试验温度-20℃±2℃，模拟高海拔低温环境下的飞行场景。

### 5.4 保压时间

常规巡航工况保压4h，低空极限工况保压6h；若需进行耐久性考核，可适当延长保压时间，并应在试验报告中明确说明。

## 6 试验仪器

- 6.1 低气压综合试验箱：气压在 54.0kPa~101.3kPa 范围内可调，降压速率可调，可匀速升降压，具备稳态保压、温压同步控制、计时及数据记录功能，箱内无油污、无粉尘污染。
- 6.2 隔膜透气度测试仪：量程为（10~5000）s/100mL，精度≤±1%。
- 6.3 电子游标卡尺/影像测量仪：精度 0.01mm。
- 6.4 电子万能试验机：量程≥500N，精度不低于 1 级，位移分辨率优于 0.01mm，满足隔膜拉伸、断裂伸长率测试。
- 6.5 孔隙率测试仪：采用葛尔莱（Gurley）法原理，支持低气压环境下测试。
- 6.6 热收缩试验烘箱：恒温鼓风干燥箱，控温精度±2℃。
- 6.7 标准试验裁样刀具、无尘取样垫板。

## 7 试样要求

- 7.1 试样取自成品隔膜卷中部，避开卷头、卷尾及有折痕、针孔、污渍、破损区域。
- 7.2 试样规格：裁切尺寸 100mm×100mm，纵向、横向各不少于 5 片为一组平行样。
- 7.3 试样数量：每种工况至少 15 片，分为初始对照组、低气压常温组、低气压高温耦合组。
- 7.4 试样预处理：置于温度 23℃±2℃、相对湿度 50%±5%RH 恒温恒湿环境下放置 24h，预处理期间避免试样受到机械拉伸、挤压、弯折等损伤。

## 8 测试方法

### 8.1 初始性能测试

在标准大气条件下，按以下方法测试并记录原始数据：

- a) 外观：采用目测方法观察隔膜是否有异物颗粒、机械损伤，采用 10 倍放大镜检查隔膜是否存在针孔；
- b) 尺寸：用电子游标卡尺在试样纵向、横向各取 3 个测量点，取平均值作为初始尺寸  $L_0$ ；
- c) 透气度：在膜卷上沿纵向相隔 150mm 裁取隔膜 3 块，若隔膜宽度不小于 100mm 时，取试样大小为 100mm×100mm，若隔膜宽度 < 100mm 时取样大小为 100mm×隔膜宽度。将隔膜置于适合测试范围的透气仪的测试头中进行透气度测试，取 3 次测试结果的平均值作为隔膜的透气度；
- d) 孔隙率：采用液体浸泡法测试，介质采用无水乙醇，按 GB/T 36363 的规定执行；
- e) 拉伸强度：按 GB/T 1040.3 的规定进行，采用宽为 15mm±0.1mm 的 2 型试样，夹具间的初始距离 100mm±5mm，试验速度为 250mm/min±10mm/min；
- f) 热收缩率：按 GB/T 36363 规定的方法测试，在 105℃烘箱中恒温 1h；
- g) 电气强度：按照 GB/T 13542.2 的规定进行试验。

## 8.2 低气压处理

将预处理后的试样悬挂或平置于低气压试验箱内，确保自由状态、无外力。以不大于 10kPa/min 的速率将箱内气压降至本文件中 5.2 规定的目标值。达到目标值后开始计时，保持规定时间。

## 8.3 恢复

到达保持时间后，以不大于 10kPa/min 的速率将气压恢复至常压。取出试样，在标准大气条件下放置 2.0h±0.1h。

## 8.4 处理后性能测试

按 8.1 的相同方法，测试经低气压处理并恢复后试样的各项性能。

## 9 数据处理与结果判定

### 9.1 外观

低气压处理后隔膜无开裂、无分层、无鼓胀、无新增针孔、无明显褶皱变形，判定外观合格。

### 9.2 尺寸变化率

9.2.1 尺寸变化率按照式 (1) 进行计算：

$$\Delta D = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Delta D$ ——尺寸变化率，%；

$D_0$ ——低气压处理前的初始尺寸，单位为毫米 (mm)；

$D_1$ ——低气压处理后的测试尺寸，单位为毫米 (mm)。

9.2.2 隔膜的纵向、横向尺寸变化率绝对值均 ≤ 2.0%，则判定合格。

### 9.3 透气度变化率

9.3.1 透气度变化率按照式 (2) 进行计算：

$$\Delta G = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Delta G$ ——透气度变化率，%；

$G_0$ ——低气压处理前的透气度，单位为秒每一百毫升 (s/100mL)；

$G_1$ ——低气压处理后的透气度，单位为秒每一百毫升 (s/100mL)。

9.3.2 隔膜的透气度变化率绝对值 ≤ 15%，则判定为合格。

### 9.4 孔隙率变化率

9.4.1 孔隙率变化率按照式 (3) 进行计算：

$$\Delta p = \frac{p_1 - p_0}{p_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $\Delta p$ ——孔隙率变化率, %;
- $p_0$ ——低气压处理前的孔隙率, %;
- $p_1$ ——低气压处理后的孔隙率, %。

9.4.2 隔膜的孔隙率变化率绝对值 $\leq 5\%$ , 则判定为合格。

## 9.5 拉伸强度保留率

9.5.1 拉伸强度保留率按照式(4)进行计算:

$$\eta_\sigma = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $\eta_\sigma$ ——拉伸强度保留率, %;
- $\sigma_0$ ——低气压处理前的初始拉伸强度, 单位为兆帕 (MPa);
- $\sigma_1$ ——低气压处理后的测试拉伸强度, 单位为兆帕 (MPa)。

9.5.2 隔膜的拉伸强度保留率 $\geq 80\%$ , 则判定为合格。

## 9.6 热收缩率变化率

9.6.1 热收缩率变化率按照式(5)进行计算:

$$\Delta L = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $\Delta L$ ——热收缩率变化率, %;
- $L_0$ ——低气压处理前的初始热收缩率, %;
- $L_1$ ——低气压处理后的测试热收缩率, %。

9.6.2 隔膜的热收缩率变化率绝对值 $\leq 5\%$ , 则判定为合格。

## 9.7 电气强度保留率

9.7.1 电气强度保留率按照式(6)计算:

$$\eta_E = \frac{E_1}{E_0} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $\eta_E$ ——电气强度保留率, %;
- $E_0$ ——低气压处理前初始电气强度, 单位为伏特每微米 (V/ $\mu\text{m}$ );
- $E_1$ ——低气压处理后实测电气强度, 单位为伏特每微米 (V/ $\mu\text{m}$ )。

9.7.2 隔膜的电气强度保留率 $\geq 90\%$ , 绝缘性能无明显衰减, 则判定为合格。

## 10 测试报告

测试报告应包含以下内容:

- a) 报告编号、测试日期、实验室名称、地址、测试人员;
- b) 样品信息: 产品名称、型号、规格、生产批次、取样位置、预处理参数;
- c) 测试依据: 本文件编号及引用文件;
- d) 测试设备: 设备型号、校准证书编号、校准有效期;
- e) 测试参数: 气压、温度、湿度、振动参数、持续时间、循环次数等;
- f) 测试数据: 基准值、低气压实时值、恢复后值、各项变化率及保留率;
- g) 试样状态: 测试过程中是否出现异常, 异常发生时的环境参数;
- h) 结果判定: 明确判定该试样低气压性能合格或不合格。

