

# 湿热试验的原理方法、常见问题与解决方案

## 一、什么是湿热试验

湿热试验技术主要用在：

- 1、探索潮湿环境对产品的影响（开发、设计阶段的研究性试验）。
- 2、鉴定产品的防潮性能（研制、生产阶段的质量检查或型式试验）。
- 3、评价产品在潮湿环境下使用的安全可靠性能（安全或可靠性试验）。

试验后判定的主要指标一般是检查产品的电性能和机械性能，也检查某些样品的腐蚀情况。

湿热试验一般有三种类型，其中，恒定湿热试验主要适用于一般电工电子产品，应力严酷度等级较低，试验设备要求也不高。

交变湿热试验适用于环境比较恶劣复杂的产品，军标里的湿热试验其实也是交变湿热，适用于复杂环境或可能将要使用到这类环境的军工产品或通讯产品。交变湿热或湿热试验对温度、湿度、持续时间和循环周期的要求都比恒定湿热严酷，军标的湿热试验更严酷。所以，如果一个产品做过交变湿热或军标要求的湿热试验，就没有必要再做恒定湿热试验了。一般重要关键的产品或军工设备，在制订可靠性试验方案或编写试验大纲时，也不会选择恒定湿热试验。三种湿热试验严酷度顺序，从低到高为“恒定湿热”小于“交变湿热”小于“（军标的）湿热”。要注意，严酷度并不是项目越多越好。

试验项目	试验目的 及适用范围	作用机理	常用标准	温度要求	湿度 要求	持续时间	循环次数
恒定湿热	确定电工电子产品在高湿度条件下使用、贮存和运输时的适应性。	高温高湿作用在样品上，可以构成水汽吸附、吸收和扩散作用。很多材料在吸潮后膨胀，性能变坏，引起物质强度降低及其他主要机械性能的变化，吸附了水汽的绝缘材料会引起电性能下降。	GB/T 2423.3、GJB 360B、IEC 60068-2-78	30℃ 或 40℃	85%、93%	12h、16h、24h、48h、96h等	1次
交变湿热	确定电工电子产品在高湿度与温度循环变化组合的情况下使用、运输和贮存的适应性。	在高湿条件下，利用温度循环引起的凝露和干燥的交替过程，使进入样品内部的水汽产生“呼吸”作用，从而使腐蚀过程加速。	GB/T 2423.4、GJB 360B、GJB548B、GJB150.9A、IEC 60068-2-30	高温 40℃ 或 55℃；常温 25℃	90%、95%	至少 24h 或 48h	2次、6次、12次或1次、2次、6次
湿热试验		基本同交变湿热应用场景		高温 60℃， 常温 30℃	95%、85%	24h	10次

表一 不同类型湿热试验之间比较

标格达 BGD 897 高低温交变湿热试验箱内置空气间、循环风道、加热装置、制冷装置、加湿装置及循环风机，顶部安装导风板以及散流器；温湿度控制器根据设定温湿度及试验箱内温度感应体传输信号发送指令，通过微积分时间及 SSR 控制模块控制加热加湿器输出量及制冷机组工作，循环风均匀的从顶部吹出经过试验空间再从底部回收构成闭环控制方式，从而达到长期稳定运行的目的



## 二、湿热试验条件的物理现象

在湿热试验中，温度和湿度共同作用，会形成一些物理现象并使样品表面或内部受潮。

### 1、吸附现象：

气体分子（在湿热试验中指水蒸气分子）在空间运动时可能碰撞固体物质（样品）的表面，当一定数量的分子连续碰在固体表面，在它重新回到空间之前，要在固体（样品）表面“停留”一定长的时间。这时，气体在表面上的浓度高于它在空间中的浓度，从而产生凝结。这种气体在固体表面上“停留”的现象称之为吸附。因此，吸附也可以说是气体在固体表面上凝结和蒸发的一个中间过程。根据实验结果，气体吸附量与固体物质的性质、温度及平衡时气体的压力三者有关。温度愈低、压力愈高，则吸附量就愈大。（感兴趣的同学可以去研究一下函数关系式）

物理吸附是由范德华引力引起的，吸附层一般为多分子层。吸附速度较快，吸附时所需能量也较小，一般在低温下便能进行。在湿热试验中以物理吸附现象居多。

### 2、凝露现象：

凝露实际上也是水分子在样品上的吸附现象，但它是在试验温度上升时产生的。在升温阶段，样品表面温度低于周围空气露点温度时，水蒸气便会在样品表面凝结成液体形成水珠。在交变湿热试验的升温阶段，由于样品的热惯性，使它的温度上升滞后于试验箱的温度。因此，表面便产生了凝露现象。这种表面凝露量的多少，取决于样品本身的热容量大小，以及升温速度和升温阶段的相对湿度，在交变湿热试验的降温阶段，封闭外壳的内壁也会出现凝露现象。

标格达的高低温交变湿热试验箱内箱材质由 SUS304# 不锈钢板组成，1.2mm 厚；外箱材质：由冷轧钢板经过烤漆处理，1.2mm 厚；保温材质由硬质聚氨酯硬质发泡+玻璃纤维组成，100mm 厚。能确保在实验期间外壳内壁不会出现凝露现象。

### 3、扩散现象：

扩散是分子运动的一种物理现象。在扩散过程中,分子总是从浓度大的地方迁移到浓度小的地方。

湿热试验时,空气中水蒸气向浓度较低的材料内部扩散的速度可以用菲克定律表示出来。所以,湿热试验中由扩散引起的潮气侵入,除了取决于试验条件中的绝对湿度与温度,还与样品的材质有关。

#### 4、吸收现象(也称为流通现象)。

水蒸气进入材料内,一般都是通过空隙。水蒸气通过间隙的速度取决于孔的尺寸。如果孔隙的尺寸小于水分子的直径,水蒸气便不能进入。由于水蒸气在空间是与空气混合存在的,所以它的进入速度与水蒸气和空气的混合比例也有很大关系。将水蒸气和空气比例为 1:1 时,相当于 80°C 空气饱和状态下的水气量作为界限。高于这个界限的称为高蒸气压力,低于这个界限的称为低蒸气压力,然后将水蒸气进入空隙的机理分别进行讨论:

①低蒸气压力下水气进入机理:在温度和水蒸气压力都不变的情况下(相当于恒定湿热试验),水蒸气进入空隙主要是由于扩散作用,其速度主要取决于空隙中的空气阻力(渗透系数)和空隙尺寸(空隙的大小虽然也影响进入速率,但并不严重)。当温度变化(相当于交变湿热试验)时,空隙两边的水蒸气压力差强迫含有水蒸气的空气通过。这时进入速率不但与空隙阻力和空隙尺寸有关,还与空隙两端的水蒸气压力差也有关。由此可见,恒定湿热试验与交变湿热试验的作用机理是不一样的。

②高蒸气压力条件下,水蒸气进入速度与空隙直径有关,当空隙直径小于水分子的平均自由路程时,水蒸气进入为分子流;当空隙直径大于平均自由路程时,进入速度为粘性流,空隙直径处于上述二者之间时为过渡流。在高蒸气压力下,水蒸气进入速度随空隙大小变化说明,如果提高温度来加速潮气进入,对不同空隙尺寸将会有不同的速率,其加速倍数将是不一样的。

综上所述,水蒸气通过吸收现象的进入,取决于温度和水蒸气压力(绝对湿度)及材料的材质。

## 5、呼吸作用：

我们将封闭样品内空腔中温度变化引起的内外空气交流，称之为呼吸作用。在交变湿热试验的降温阶段，由于温度急剧下降，引起封闭空腔内的空气温度下降或空腔内壁的凝露都会使腔内压力降低，形成抽吸现象，吸入外界的潮湿空气，因此，降温阶段的呼吸作用吸入潮气量的多少，与温度变化速率和绝对湿度有关。这种呼吸现象不仅仅发生在试验温度交变时，当具有封闭外壳的样品，如封闭型旋转电机在间歇运动过程中，壳内线圈发热或冷却的反复交替变化，也会发生呼吸作用。在潮湿条件下使用的电机产品，由于这种呼吸作用吸入潮气，长期凝结成水在壳内积聚起来，也是屡见不鲜的。

## 三、潮湿对不同类型的样品产生的劣化效应

样品受潮的形式一般有二种：一种是表面受潮，它通常是由凝露和表面吸附引起的；另一种是体积受潮，它是由水蒸气扩散和吸收现象引起的。有时吸附在样品表面的水分达到一定程度，也会加快体积受潮的速度。对有空腔的封闭类型的样品，其内部虽然不直接接触高湿条件，但由于试验温度的变化造成的呼吸作用，会使外部的潮气通过间隙或裂缝进入内部，造成内部受潮。同时，扩散和吸收现象也可以使潮气通过缝隙进入封闭壳内。此外，对于某些有机材料的外壳，当扩散现象所引起的吸潮达到稳定以后，潮气便可以穿过外壳渗透进入壳内。表面和体积受潮造成样品的劣化效应，指机械性能（尺寸和强度）和非机械性能（电性能和其他性能）；两种变化。

## 四、湿热试验条件与实际潮湿环境间的关系

湿热试验的温湿度条件一般是模拟实际环境中较为罕见的条件，且其作用持续时间也比实际环境中要长得多。所以从模拟性来说，它较自然条件严酷，对样品是有加速作用的。根据上面讨论的

几种物理现象所引起的受潮机理可以看出，不同材料和结构的样品，试验结果是不完全一样的。所以，一个普遍通用的人工湿热试验方法要求取统一的加速系数是困难的。只有对某一特定或单一性质的样品，经过分析和试验比较后，才能确定一个较为合适的加速系数。湿热环境的分级与试验严酷等级的对应关系，是多年来没有完全解决的问题。人工湿热试验方法的严酷等级是由试验条件和试验周期数组成的。试验条件一般对应于样品实际使用环境条件，而试验周期数的选择比较复杂。通常，试验周期数是根据样品的特征及湿热对其主要机理影响综合分析以后确定的。一般要与自然或现场运行试验的结果对比，找出相互之间的关系后，才能选择合适的周期数。但是，到目前为止，即使在国际上也尚未得出一个普遍适用的数学模式，来表达人工湿热试验与自然条件间的关系。所以，虽然在试验方法标准中推荐了优先选用的周期数，但在实际应用中，仍然存在着许多问题。

湿热试验周期的多少是产品长期贮存周期最可靠的依据。现有认识表明，特别是在库存中，影响腐蚀的基本的和最重要的因素是库房中的相对湿度。在相对湿度低时，随温度的增加，腐蚀速度增加并不快。它们遵循着这样一个经验关系式：

$$A = \frac{(H - 65)}{10} \times kt$$

式中：A——锈蚀度

H——相对湿度 (%)

t ——大气温度 (°C)

k ——与金属材料的种类有关的常数

按这个关系式,可得到不同金属材料在不同条件下的锈蚀度。按这个关系式,大气中相对湿度(H)为65%时,锈蚀度 $A=0$ ,也就是说金属材料在这种条件下不会锈蚀。但相对湿度大于65%时,金属就会锈蚀,并随湿度、温度的增加,锈蚀度急剧增加。

无论是长期贮存还是加速腐蚀试验,另一种常见的是点状基体腐蚀。大多数是由于浸漆、包装生产过程中的磕碰、熔洞过程中的“夹杂”(大多数为夹铁)、冲压过程中由于磕碰、划伤造成的“夹灰”,而在表面处理前未能发现修复的表面。因而点状锈蚀也是最难杜绝的一种腐蚀源。交变湿热试验中降温阶段的呼吸作用,对某些类型的样品来说是较为明显的,因此,在试验方法中特别强调了降温速度和湿度的问题。交变湿热中较大的温度变化幅度、降温时较高的相对湿度以及高湿持续作用时间长,会加剧绝缘受潮。

## 五、湿热试验的意义

恒定湿热通过先升温再升湿(先降湿再降温)的方法避免产生凝露,主要是通过高温高湿环境下样品对水汽吸附、吸收和扩散等作用,造成产品失效。

交变湿热则是在高湿条件下,利用温度循环引起的凝露和干燥的交替过程,使进入样品内部的水汽产生呼吸作用,从而使腐蚀过程加速。

## 六、湿热试验中断处理

### 1、恒定湿热试验

测试过程中遇到突然停电等特殊原因造成试验被迫中断的情况时,建议按照以下方式操作:

- 1) 如果在中断过程中箱内环境条件没有超过允许的误差范围,此时中断的时间应作为总试验时间的一部分(一般为瞬间断电后及时通电恢复箱内环境);
- 2) 当中断过程期间试验条件低于允

许误差下限，那么应重新达到要求的试验环境，并剔除误差范围以外的测试时间，一直进行到完成规定的试验时间；3) 如果出现过试验的情况，建议最好停止试验，重新用新的样品进行试验，若经过相关技术人员的判定，认为超过要求的试验条件不会直接造成试验样品特性的破坏，或者该样品为可修复的产品，那么可以按照第二条处理，如果在以后的试验中出现样品失效，那么应该认为该项试验结果无效。

## 2、交变湿热（耐湿试验）试验方法

### 1) 设备级湿热试验

测试过程中遇到突然停电等特殊情况造成试验中断时，建议按照以下方式操作：

①如果在中断过程中箱内环境条件没有超过允许的误差范围，此时中断的时间应作为总试验时间的一部分；

②当中断过程中箱内环境条件低于允许误差下限时，那么应该从中断前最后一个有效循环的结束点重新开始继续试验（即中断点所在的循环无效）；

③如果出现过试验的情况，建议最好停止试验，重新用新的样品进行试验，若经过相关技术人员的判定，认为超过要求的试验条件不会直接造成试验样品特性的破坏，或者该样品为可修复的产品，那么可以将箱内环境恢复至要求环境条件并继续试验，如果在以后的试验中出现样品失效，那么应该认为该项试验结果无效。

### 2). 器件级湿热试验

测试过程中遇到突然停电等特殊情况造成试验中断时，在完成规定循环次数之前（不包括最后一次循环），如发生了不多于一次的意外试验中段，可重做该循环。若在最后一次循环期间出现意



外的试验中段，除要求重做该循环外还要求再进行一次无中断的循环。任何中断超过 24 h 都要求从头至尾重做试验。

## 七、湿热试验有效工作空间的确定

湿热试验,包括恒定湿热试验、交变湿热试验、温度/湿度组合循环试验。

GB/T 2423.3 恒定湿热试验，规定温度容差为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

GB/T2423.9Cb 恒定湿热试验 4 个温度等级规定的温度容差为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度容差为 $\pm 3\%$ 。

GB/T 2423.4 交变湿热试验所规定的上限温度时：温度容差为 $\pm 2\%$ ，相对湿度容差为 $\pm 3\%$ ；

下限温度时温度容差为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度要求 95%。

GB/T 2423.34ZD 温度/湿度组合循环试验中潮湿暴露循环的上限温度时，温度容差为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度容差为 $\pm 3\%$ 。相对湿度是一个与温度有关的参数，箱内温度不同，相对湿度也不同，相对湿度差别大小还与它的加湿方式、风速、控制精度等有关。加湿方式和空气流通速度一般是固定的，控制精度也只能通过良好的维护、保养和正确的操作程序加以保证。它的有效工作空间一般要比高温试验的有效工作空间小一些，因为只有小的温差和小的温度波动才能保证相对湿度的差别保持在较小的数值上。

GB/T 2423.3 指出：为使本标准规定的相对湿度容差保持在要求的范围内，工作空间内任何两点的温差，在任一瞬时都不应大于 $1^{\circ}\text{C}$ ，短期的温度波动也必需保持在较小的范围内。确定各种湿热试验有效空间，也必需通过相对湿度的测量加以判断。以确保在进行各种湿热试验时，被试样品始终保持在规定容差范围内。