

中华人民共和国国家标准

电工电子产品基本环境试验规程 湿热试验导则

GB/T 2424.2—93

Basic environmental testing procedures for
electric and electronic products
Guidance for damp heat tests

代替 GB 2424.2—81

本标准等效采用 IEC 68-2-28《环境试验 第2部分:试验——湿热试验导则》(1990年第三版)^{1]}。

1 主题内容与适用范围

本标准介绍了湿热环境、产生湿度的方法、湿度的物理现象、物理过程的加速、恒定湿热试验与交变湿热试验的比较和试验环境对试验样品的影响等。

本标准供制订电工电子产品标准时,选用适当的试验方法和严酷等级之用;也可供产品设计、制造及试验人员了解湿热试验的物理意义、作用机理等,以保证试验结果的模拟性和再现性。

湿热试验主要用于确定电工电子产品对湿热环境的适应性(不论是否出现凝露),特别是产品的电气性能和机械性能的变化情况;也可用于检查试验样品耐受某些腐蚀的能力。

2 引用标准

GB 2422 电工电子产品基本环境试验规程 名词术语

GB 2423.3 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Ca:恒定湿热试验方法

GB 2423.4 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Db:交变湿热试验方法

GB 2423.9 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Cb:设备用恒定湿热试验方法

GB 2423.34 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Z/AD:温度/湿度组合循环试验方法

GB 2424.10 电工电子产品基本环境试验规程 大气腐蚀加速试验的通用导则

GB 4797.1 电工电子产品自然环境条件 温度

GB 4798.1~4798.10 电工电子产品应用环境条件

3 湿热环境条件

空气的温度和相对湿度是气候因素,二者以不同数值的组合,在产品贮存、运输和使用期间,始终对产品产生影响。

多年的气象数据表明,在自由空气条件下,除极端气候区(如波斯湾)外,相对湿度不低于95%、温

采用说明:

1] 本标准删去 IEC 68-2-28(1990)第3条定义,有关术语及定义见 GB 2422《电工电子产品基本环境试验规程 名词术语》。

国家技术监督局 1993-11-19 批准

1994-07-01 实施

度高于 30℃ 的温湿度组合不会长期出现。在自然环境条件下,我国湿热地区的分类见 GB 4797.1^{1]}。

在一般住宅和厂房内,气温可能会高达 30℃ 以上,但在大多数情况下,同时出现的相对湿度却比户外低。不同应用场所各种环境条件下的温度和湿度数据见 GB 4798.1~4798.10^{2]}。

在化工、冶金、采矿和电镀等工厂的一些潮湿房间内,环境条件比较特殊,温度可能高达 45℃,同时出现的相对湿度长期达 100%。

放置在特定条件下的一些设备也可能在高温条件下承受 95% 以上的相对湿度,尤其是当这些设备放在不通风的封闭场所如车辆、帐篷或飞机座舱中时,由于吸湿材料释放的水气、人的呼吸和出汗、无盖的盛水容器中水的蒸发或其他湿源所形成的高相对湿度可能与太阳照射引起的高温同时出现。

在有数个热源的房间内,不同地方的温度和相对湿度可能有差别。

大气污染在许多地方几乎都存在,它可能强化潮湿气候对产品的作用,例如各种腐蚀性气体与潮气的共同作用会加剧金属腐蚀的速度;某些容易吸收水分的尘埃会助长试验样品表面凝露或吸收水分,加剧表面绝缘性能的下降。某些材料受潮后长霉,也会使材料的表面电阻下降。鉴于湿热试验用的空气不应含有污染物质,因此,污染物质对被试产品的作用及影响试验结果的情况应引起注意。如要专门研究污染物质对产品的影响,则应采用适当的试验方法如气体腐蚀试验或长霉试验等。

4 湿度条件的产生方法

现在的湿热试验箱(室)有许多类型,装备有不同的湿度发生和控制系统,下面简要介绍各种加湿方法的原理及其优缺点。

4.1 喷雾加湿

把去离子水或蒸馏水雾化成极细的微粒,喷入进入工作空间前的空气内并使其在进入工作空间前蒸发,从而使空气变潮湿。应避免直接把水雾喷入工作空间内。

优点:系统简单、加湿迅速、维修量小。

缺点:在工作空间内可能留有少量的气溶胶¹⁾。

注:1) 气溶胶是具有超微小的液体或固体的粒子的气态悬浮液^{3]}。

4.2 蒸汽加湿

把热的水蒸气喷入进入试验箱(室)工作空间前的空气内。

优点:系统简单、加湿迅速、水气量易于控制。

缺点:输入蒸汽的同时也输入了热量,因而需要采取冷却措施但却产生减湿效应;同时,试验箱(室)内温度较低的物体上可能产生凝露。

4.3 挥发加湿

4.3.1 气泡挥发法

使空气在通过盛水容器时变成气泡、逐渐被水蒸气饱和。

优点:系统简单;在气流不变时,改变水温则能方便地控制湿度。

缺点:用提高水温的方法加湿有可能使工作空间的温度升高;由于水的热容量大,改变湿度时可能产生时间滞后;气泡破裂时可能产生少量的气溶胶。

4.3.2 表面挥发法

使空气掠过大面积的水面而使空气加湿。表面挥发加湿有几种不同的方法,例如,使空气反复掠过

采用说明:

1] 在 IEC 68-2-28(1990)中为见 IEC 721-1,本标准改用我国标准。

2] 在 IEC 68-2-28(1990)中为见 IEC 721-3 系列标准,本标准改用我国标准。

3] 注为本标准所加。

静止的水面,或将水喷射到垂直表面上与空气逆向流动。

优点:产生的气溶胶极少;利用改变水温的方法易于控制湿度。

缺点:由于水的热容量较大,改变湿度时可能存在时间滞后现象。

4.4 水溶液加湿

在恒定温度下,在小型的密封试验箱中标准水溶液的上空能形成规定的相对湿度。附录 B 给出了丙三醇(甘油)和各种盐溶液能形成的相对湿度值。

优点:方法简单,系统可靠。

缺点:不适用于散热试验样品和吸湿量大的样品;不能在交变湿热试验中使用。在设计不良的试验箱中盐粒可能淀积在试验样品表面上;在某些情况下,例如在用铵盐时,铵盐微粒对健康有害,并引起铜合金的应力腐蚀。

5 湿度的物理现象

5.1 凝露

露点温度取决于空气中水汽的含量。露点温度、绝对湿度和水汽压力三者之间存在着直接关系。

当把试验样品放进试验箱(室)中时,如试验样品的表面温度低于试验箱(室)中空气的露点温度,样品表面上就会出现凝露,因此,如欲避免凝露,必须对试验样品进行预热。

在条件试验期间,如要求试验样品表面产生凝露,就必须迅速提高空气中水分的含量和空气温度,使空气露点温度和试验样品表面温度之间达到某一差值。例如,在交变湿热试验的升温阶段,由于试验样品有一定的热时间常数,其表面温度往往低于试验箱(室)内空气的露点温度,因此,试验样品表面上产生凝露^{1]}。

如试验样品的热时间常数比较小,则只有在升温速率极快或相对湿度接近 100% 时才会出现凝露。

对于很小的试验样品,即使满足试验 Db 和试验 Z/AD 所规定的升温速率,也可能不会出现凝露。

在升温期间,在热时间常数为 τ 的试验样品表面上产生凝露所需要的相对湿度由下式给出:

$$RH > 100 \left(1 - 0.05\tau \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right)$$

式中: RH ——相对湿度, %;

τ ——试验样品的热时间常数, s;

注: 试验样品的热时间常数也与试验箱(室)中的风速有关。

$\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ ——试验箱(室)中空气温度的平均变化速率, °C/s。

例如,对于以 25°C/55°C 交变的湿热试验 Db,

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{55 - 25}{3 \times 60 \times 60} \approx 0.0028 \text{ °C/s}$$

对于 $\tau = 1 \text{ min}$ 的小元件,保证产生凝露的相对湿度值则为 99.2%。

在温度下降到周围温度后,壳体内表面上可能会有少量凝露。在毛细管中,即使相对湿度大大低于 100%,也可能产生凝露。

采用说明:

1] 举例为本标准所加。

通常,凝露的情况只能用肉眼观察的方法检查,但不一定十分有效,对表面粗糙的小试验样品尤其是这样。

5.2 吸附

吸附在试验样品表面上的水气分子的量取决于材料的类型、材料的表面结构和水汽压力的大小。由于吸附和吸收同时发生,而吸收效应通常更明显。因此,不容易单独评定吸附量的大小。

5.3 吸收

材料吸收潮气的量在很大程度上取决于周围空气的含湿量、吸收过程在达到平衡前始终稳定地进行着。水分子渗入的速度一般随温度升高而增大。

5.4 扩散

在电子工程中经常出现的扩散实例就是水蒸气透过有机密封材料进入壳体内部,例如进入电容器或半导体器件内部。

5.5 呼吸¹⁾

由于温度变化引起试验样品空腔内外空气和水气的交流称之为呼吸。内有空腔的不良密封类型的试验样品,吸入的潮气使试验样品的内部结构受潮,或在空腔内凝结成聚集态的水。

6 物理过程的加速

6.1 概述

一般试验的目的是为了求得与在正常使用环境中会发生的相同的特性变化。加速试验的目的在于大大缩短试验时间获得与正常使用条件相类似的效果。但是必须强调指出,加速试验时,试验样品在严酷条件下的失效机理与正常使用条件下的失效机理是不同的。

选取试验严酷等级时应考虑产品的设计使用极限条件和设计贮存极限条件。

吸收和扩散过程可能需要相当长的时间(几千小时)才能达到平衡状态,而凝露和吸附过程所需要的时间一般则相当短。

6.2 加速因子

目前还不可能给出一个通用而有效的加速因子。在相对湿度给定的条件下,可用提高温度的方法实现湿热试验的加速作用。只有知道渗透速度、温度和水气压力三者之间的关系或建立起三者之间的经验公式后,才能确定加速因子的大小。

对于比较试验,如果不同试验样品的失效机理相同,则允许使用高加速试验。

在用恒定湿热试验模拟真实温湿度条件下的效果时,用下列方法之一就可以实现加速作用:

a. 使用高于真实条件的温度和湿度或其中之一。

b. 如真实环境的特点是高温高湿和中等程度的温度和湿度条件交变循环,则只考虑高温高湿条件而忽略中等程度的温湿度循环。但在交变循环的情况下,样品具有干燥周期,而在恒定的情况下却没有这一特点,这可能影响该试验的有效性。

7 恒定湿热试验和交变湿热试验的比较

7.1 恒定湿热试验 Ca 和 Cb

试验 Ca 和 Cb 始终应在吸收和吸附起主要作用的情况下使用。当要求模拟温度和湿度基本保持恒定的潮湿环境条件时也应采用恒定湿热试验。

7.1.1 试验 Ca

采用说明:

1) IEC 68-2-28(1990)无此条款。

试验 Ca 主要用于评价元件长期耐受潮湿环境的能力;但在许多场合中,也用于确定材料在潮湿空气中保持电气性能的能力,评价封装元件和组件防止水汽扩散的能力和用于检测电气产品的缺陷。

7.1.2 试验 Cb

试验 Cb 主要用于确定设备在不存在凝露的条件下对高湿条件的反应,特别适用于在安装阶段无法预热但要求维持规定条件的大设备和被试设备外部与试验箱(室)有复杂连接的设备。

设计试验程序时,除正在运行的温度低于试验空气露点温度的冷却装置外,应使试验样品上不出现凝露。在散热试验样品的试验中应能保证良好地模拟自由空气条件,并考虑试验样品的自身发热对样品周围环境的影响。

7.2 交变湿热试验 Db

试验 Db 适用于以产生凝露或由于呼吸作用使水气侵入并形成液态水为重要特征的各种场合。试验 Db 适用于所有各种类型的试验样品。

变化 1 适用于以吸收或呼吸效应为重要特征的所有场合。变化 2 适用于吸收和呼吸效应不太显著的场合,使用的试验设备比较简单。

“试验 Q:密封试验方法”可快速检测出能引起呼吸作用的缝隙,但不能重现湿热试验的各种效应。

7.3 试验顺序与组合试验

确定接缝的紧密性或检查发状裂纹的可靠方法是对试验样品施加一个或多个温度循环。在大多数情况下,不必把温度变化与潮湿空气综合在一起,即不必同时产生两种试验条件。

如在做完温变试验(试验 N)之后接着选做试验 C 或试验 Db,就可得到预期的更严酷的效果。如在湿热试验之后接着做低温试验(试验 A),就会增强试验效果。这是因为温变试验的高温变速率与大温差相结合所产生的热应力要比温度变化速率相当小的试验 Db 大得多。

当试验样品是由不同材料构成且有接缝时,特别是含有粘结玻璃时,推荐采用由几个湿热循环和一个低温循环组成的组合试验方法(见 GB 2423.34)。这种组合试验方法与其他交变湿热试验方法的区别在于它在给定的时间内有更高的上限温度和多次达到零下温度,从而能获得其他湿热试验所没有的附加效应,即在裂缝或接缝中凝露水的冻结效应和加速呼吸效应。

在湿度循环之间加入低温循环的目的在于使任何缺陷中含有的水结冰,借助于结冰的膨胀作用使这些缺陷比在正常寿命期更快地变为故障。

应强调指出的是,这种冻结效应只有在缝隙的大小足以允许渗入若干液态水的情况下才会发生,如金属组件与垫圈之间或焊锡与导线接头之间的缝隙等。

细微的发状裂纹或多孔材料,如塑料封装元器件的缝隙以吸收效应为主,应优先选用恒定湿热试验来考虑这些效应。

8 试验环境对试验样品的影响

8.1 物理性能的变化

潮湿大气可能会改变材料的机械性能和光学性能,所以无论是恒定湿热试验还是交变湿热试验,表面会不会出现凝露,都会使材料的物理性能发生变化。例如由膨胀引起的尺寸变化、摩擦系数等表面性能的变化和强度的变化等等。

8.2 电气性能的变化

8.2.1 表面受潮

如果绝缘材料的表面有凝露或吸附了一定数量的潮气,某些电气特性可能会变化,如表面电阻降低、损耗角增大,甚至会产生泄漏电流。

一般说来,要检查表面受潮后电气性能的变化,应选用试验 Db 或试验 Z/AD;如已知材料的使用情况仅与吸附有关,则应选用试验 Ca 或 Cb。

在某些情况下,在条件试验期间必须接通试验样品的负载或进行测量。一般说来,由于表面受潮而

引起的电气性能的变化非常迅速,在试验开始几分钟之后就很明显地显示出来了。

8.2.2 体积吸潮

绝缘材料的体积吸潮能使许多电气性能发生变化,如电介质强度降低、绝缘电阻下降、损耗角增大、电容量增大等。

由于吸收和扩散过程需要一段很长的时间,要经过几百甚至几千小时后才能达到平衡状态,因此应选取较长的试验时间。只有知道潮气渗入量与时间的依从关系才能推算出试验结果。例如塑料封装件在经过 56 d 恒定湿热试验后,看来还是良好的,但在 6 个月后,由于吸收和扩散作用,大量水气渗入材料内部,该塑料封装件的性能恶化。

在对封装件中的主要零件另加防潮处理后,如半导体的钝化处理、封入干燥剂等,评价吸潮对电气性能的影响可能变得很困难。

8.3 腐蚀

有很多种腐蚀只有在湿度相当大时才能发生。温度和湿度越高,腐蚀速度越快。一般来说,当存在反复蒸发、多次凝露时腐蚀最严重。有关这方面的资料见 GB 2424.10。

湿热试验通常不用于确定腐蚀效果,但在金属表面上附有杂质如残留的焊剂、其他加工过程的残余物、灰尘、指纹等时,潮湿环境可能会诱发腐蚀或加速腐蚀过程。

不同金属之间或金属与非金属材料的连接处,即使不存在污染物,在相对湿度很高或存在凝露时,也可能是一种腐蚀源。

附录 A

湿热效应图

(补充件)

A1 概述

图 A1 给出了有关湿热试验的基本物理过程以及这些过程之间的联系,说明了湿热试验对试验样品和材料性能的影响及效果。

下面列出了湿热试验的各项试验参数及其代号,这些代号已在图 A1 中适当的地方或现有资料能证明其正确性的地方写在各类方框中:

时间(条件试验持续时间之和)	t
温度	θ
温差	$\Delta\theta$
温度变化速率	$d\theta/dt$
相对湿度	RH
绝对湿度	AH
试验大气的污染程度	Pu

A2 注释

A2.1 水渗入

水渗入固体材料内部与通过缝隙进入封闭空腔中的作用机理是不同的,区别如下:

a. 水渗入固体材料是由于“体积扩散”的结果,体积扩散就是一个个单体水分子通过固体材料的分子空隙的运动。该机理导致“吸收”现象。体积扩散可使水分子到达塑料封装器件内部的灵敏部分,如到达封装塑料外壳薄膜电阻器中的电阻膜。按相同的过程,水分子也能到达封闭物的内部空腔,在这种情况下,解吸就是潮气进入内腔这一过程的结束。

b. 穿过缝隙的渗入是由于水汽在充满空气的泄漏通道或封闭物中运动的结果。这可分为三种作用机理说明:

扩散:水分子沿缝隙中气体的浓度梯度而运动。扩散不依赖空气的宏观流动。

流动:水分子通过缝隙被空气流吸入。

呼吸:由于空气压力与水气分压力之差随缝隙的深度而变化,使水气沿缝隙而流动,即由于温度变化而使水气流动。

注:辨别缝隙的渗透机理具有某种随意性,事实上扩散和流动是一个连续转变的过程,流动也可能是呼吸作用的结果。

A2.2 物理过程

见第 6 章。

A2.3 效应

见第 8 章。

A2.4 效应示例

图 A1 中最后一行列举湿热效应的典型实例,但必须指出,这些实例不一定是这些物理过程引起的唯一示例。同时,由于各种效应之间可能存在相互作用,因此不能认为这一行中每个方框是完全独立的,例如,水气和材料之间的化学反应可能导致体积电阻和损耗角的变化等,这在左起第 4 个方框已经标明,当然,无疑还有许多其他相互作用的例子。

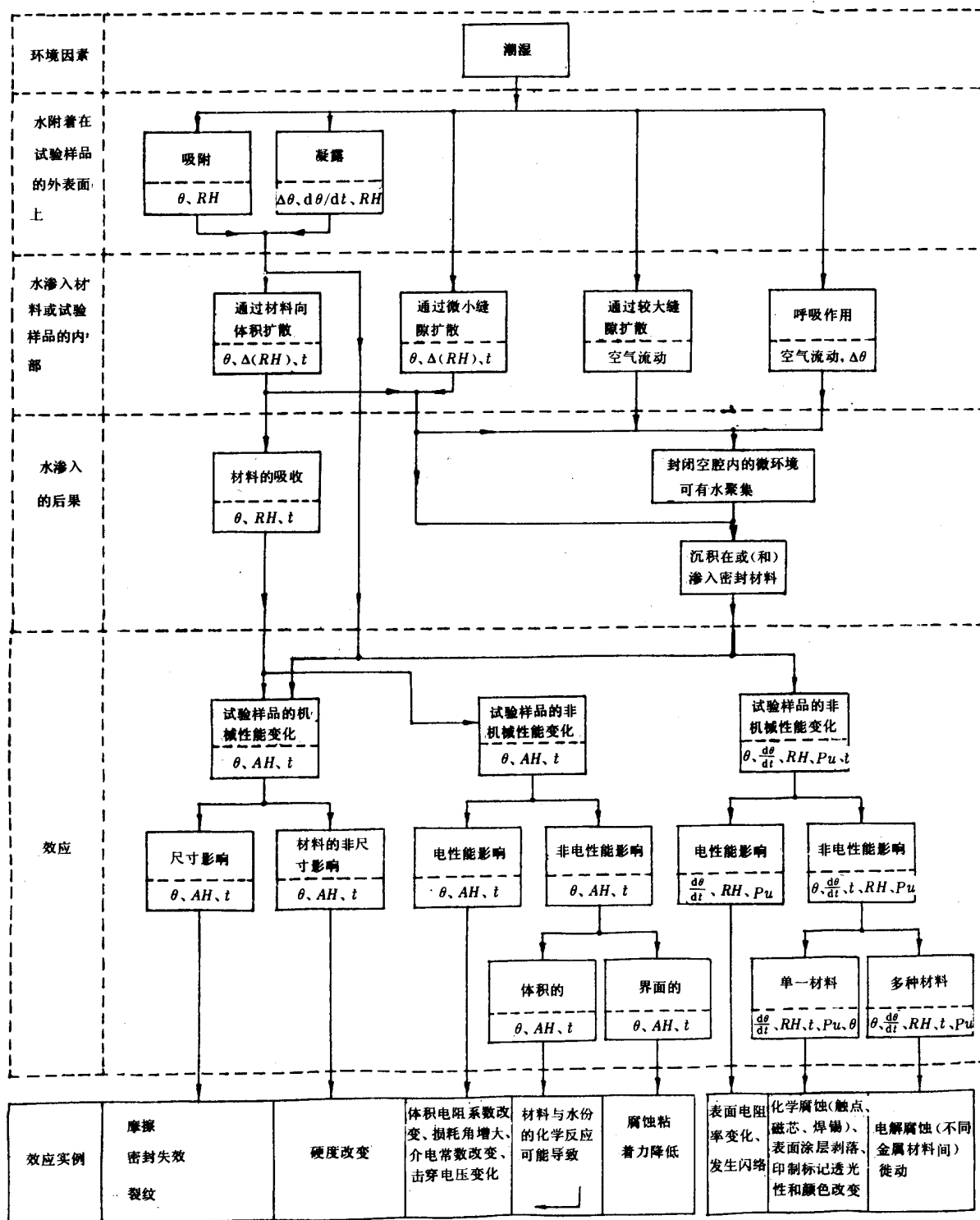


图 A1

附录 B^{1]}甘油和各种盐溶液上方空气的相对湿度
(参考件)

B1 用甘油-水溶液产生的空气相对湿度

表 B1 所列不同浓度的甘油[%(*m/m*)]在 15~60℃ 的温度范围内可提供表列对应的相对湿度。相对湿度的误差约为 ±1%，用线性内插法求取表中未给出的数值时，附加误差小于 1%。

表 B1

相对湿度 %	甘 油 %(<i>m/m</i>)	25℃时的密度 <i>g/cm</i> ³	25℃时的折射率 <i>n</i>
100	0	0.998 2	1.333
98	10	1.022 1	1.345
95	20	1.047 0	1.357
90	33	1.080 6	1.374
85	44	1.110 2	1.390
80	52	1.131 7	1.401
75	58	1.147 9	1.410
70	63	1.161 4	1.417
65	67	1.172 4	1.423
60	71	1.183 6	1.429
50	78	1.202 5	1.440
40	84	1.218 7	1.449
30	90	1.234 7	1.457

用甘油-水溶液产生的相对湿度随其浓度的大小而变化，因此对其浓度要经常检查和调整，另外甘油粘度高也会导致溶液内部的浓度和表面浓度不一致。

折射率要用测量范围为 1.33~1.47*n*、误差为 ±0.001*n* 的折射计测量。

B2 用饱和盐溶液产生的空气相对湿度

饱和盐溶液具有强烈吸收和放出湿气的 ability。在恒定温度下饱和盐溶液能保持密闭空间中的相对湿度为一确定值，见表 B2。

采用说明：

1] 为本标准所补充，引自 IEC 260(1968)。

表 B2

饱 和 盐 溶 液		温 度									
		℃									
		5	10	15	20	25	30	35	40	50	60
		相 对 湿 度									
		%									
1. 硫酸钾	K ₂ SO ₄	98	98	97	97	97	96	96	96	96	96
2. 磷酸二氢钾	KH ₂ PO ₄	—	—	—	—	—	—	—	93	—	—
3. 硝酸钾	KNO ₃	96	95	94	93	92	91	89	88	85	82
4. 氯化钾	KCl	88	88	87	86	85	85	84	82	81	80
5. 硫酸铵	(NH ₄) ₂ SO ₄	82	82	81	81	80	80	80	79	79	78
6. 氯化钠	NaCl	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75
7. 亚硝酸钠	NaNO ₂	—	—	—	65	65	63	62	62	59	59
8. 硝酸铵	NH ₄ NO ₃	—	73	69	65	62	59	55	53	47	42
9. 重铬酸钠	Na ₂ Cr ₂ O ₇ · 2H ₂ O	59	58	56	55	54	52	51	50	47	—
10. 硝酸镁	Mg(NO ₃) ₂ · 2H ₂ O	58	57	56	55	53	52	50	49	46	—
11. 碳酸钾	K ₂ CO ₃ · 2H ₂ O	—	47	44	44	43	43	43	42	—	—
12. 氯化镁	MgCl ₂ · 6H ₂ O	34	34	34	33	33	33	32	32	31	30
13. 醋酸钾	CH ₃ COOK	—	21	21	22	22	22	21	20	—	—
14. 氯化锂	LiCl · xH ₂ O	14	14	13	12	12	12	12	11	11	11

在配制饱和盐溶液时,在溶液中应该有多余的固体盐,以确保其饱和度。

当使用饱和盐溶液进行试验时,凡是能产生对试验样品有害的腐蚀性气体的盐类不得使用,例如,对含铜或铜合金的试验样品,就不适宜使用铵盐类。此外,应避免盐在溶液中晶化或从盐溶液中“析出”。

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会归口。

本标准由机械工业部广州电器科学研究所负责起草。

本标准主要起草人谢建华、许甫、钟开华、贾学懋、夏越美。