

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 高温低温试验导则

GB 2424.1—89

代替 GB 2424.1—81

Basic environmental testing procedures
for electric and electronic products
Guidance for high temperature and low temperature tests

本标准等效采用国际标准 IEC 68—3—1《基本环境试验规程 第三部分:背景材料——寒冷和干热试验》(1974 年版)及其第一次补充文件 IEC 68—3—1A(1978)。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了电工电子产品基本环境试验规程:高温、低温试验导则。

本标准适用于电工电子产品基本环境试验的高温、低温试验。

本标准包括非散热试验样品和散热试验样品(带冷却系统和不带冷却系统)的温度突变试验和温度渐变试验的背景知识材料,作为低温和高温试验方法应用的指导。

试验设备(箱或室)可用有强迫空气循环的和无强迫空气循环的。一般对非散热试验样品采用有强迫空气循环的,而对散热试验样品多采用无强迫空气循环的。

1.1 高温和低温试验方法分类总方框图

高温和低温试验方法分类见总方框图。

1.2 基准环境条件

产品性能一般受其内部温度的影响与制约,而内部温度则决定于其自身所产生的热量和周围环境条件。

不论何时,当产品与其周围环境形成的系统存在温度梯度时,则其间就存在热传输(热交换)过程。

除专用大型产品或成套设备外,产品将来工作的实际环境条件在设计制造时往往是不能准确地知道,也不能精确地规定的。所以,在设计、制造或试验时一般不可能用实际环境条件作为依据。因此,有必要规定产品的基准环境条件以作为设计、制造和试验的依据,由本章 1.3、1.4、1.5、1.6 各条内容来加以规定。

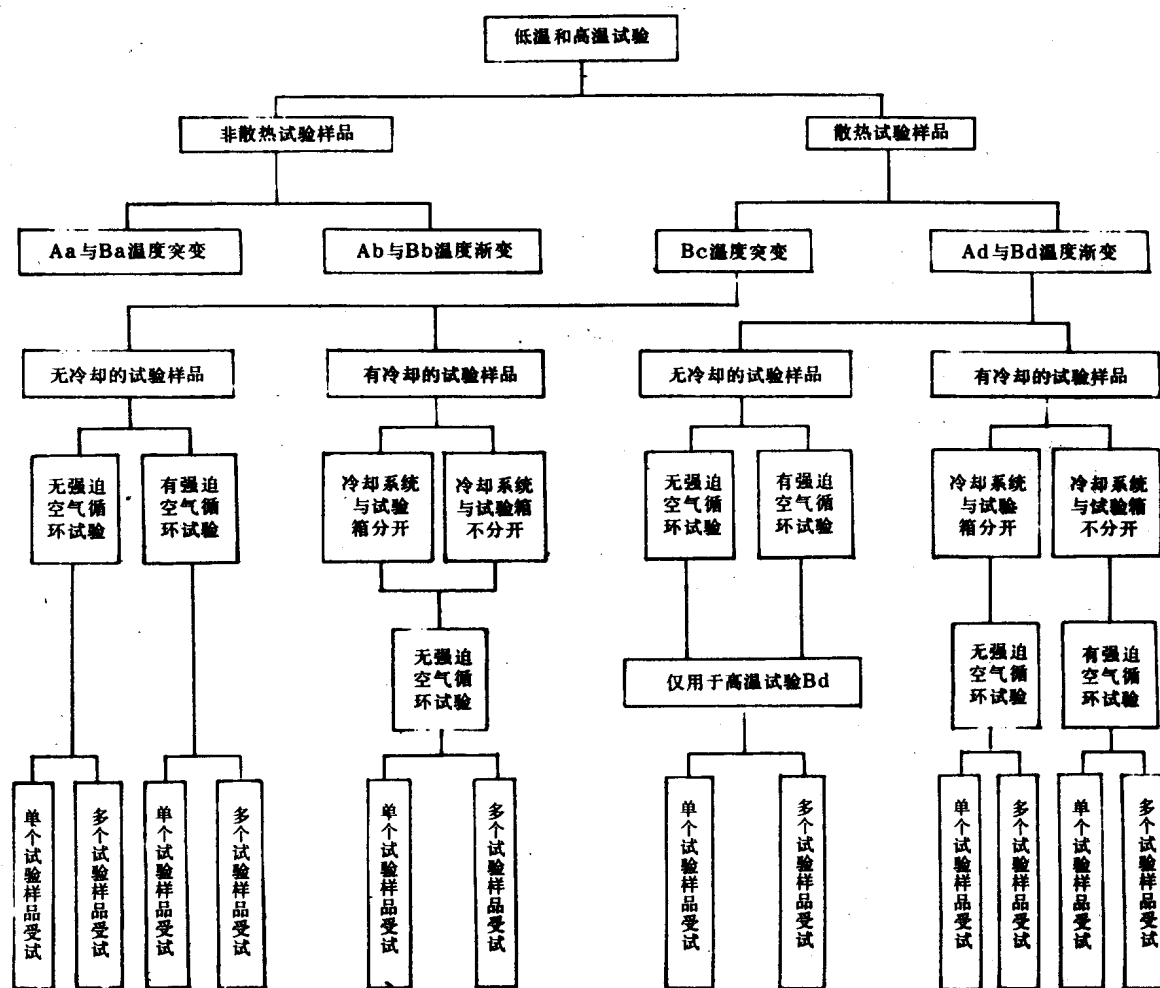
1.3 非散热产品

若环境温度均匀不变、且产品内又不产生热时,则热流方向是:环境温度较高时,热由环境大气传入产品;反之,若产品温度较高时,则热由产品传入周围大气。这种热传输过程将不断进行,直到产品所有各部分的温度均达到周围大气温度时止。此后,除非环境温度有所改变,热的传输过程将停止。

这种情况下,确定基准环境温度是简单的,唯一的条件是它应当均匀分布而且恒定。但对产品达不到周围大气温度时的情形,基准环境温度的确定就较为复杂,这时应考虑采用本章 1.4 条的结论。

中华人民共和国机械电子工业部 1989-01-25 批准

1990-01-01 实施



高温和低温试验方法分类总方框图

1.4 散热产品

产品内有热产生,若没有热传输到周围大气中,则产品温度将不断上升。实际上,产品所产生的热是不断向周围环境大气发散的,最后,产品所产生的热与耗散在周围冷却大气中的热相平衡,使产品温度达到稳定。只有当环境温度上升(或下降)时,产品内部的温度才会随着进一步的上升(或下降),直至达到新的平衡为止。

对于这种情形,基准环境温度应这样来确定,使能得到简单而又重现得好的热传输条件。由于热传输是由对流、辐射和传导三种不同方式来进行的,所以必须对每一种方式分别而又同时获得明确的规定条件。例如:若是多个试验样品在同一试验箱(室)进行高温试验时,就应保证所有试验样品都处在同一环境温度下,并具有相同的安装条件。对低温试验,则没有必要严格区分单个试验样品和多个试验样品时的情况。

1.5 环境温度

通常产品使用者要求了解产品工作时所允许的环境温度的最大值和最小值,而且为了试验目的,对此也应作出规定。因为低温试验通常就是采用与环境温度最小值相当的温度(等级),而高温试验通常则采用与环境温度最大值相当的温度(等级)来进行的。

由于热传输是和温度梯度相关联的,故产品周围介质的温度在空间中的分布必然各点不同,这给确定周围大气“环境温度”带来一定困难。对此“环境温度”应专门加以确定(见 GB 2422《电工电子产品基

本环境试验规程 名词术语》第 2.7 条)。

1.6 表面温度

对产品性能起主要影响的是其本身的温度。从监控和调节试验设备的目的来进,参考试验样品表面上乃至其内部一些关键点温度来进行监控和调节试验设备是适宜的。

1.7 试验持续时间

1.7.1 若试验目的仅是检查产品在高温或低温时的工作性能,则试验时只要进行到试验样品达到温度稳定就可以了。试验样品在某一环境温度下达到温度稳定所需的时间,约为该试验样品热时间常数的 3~5 倍,一般取 4 倍。

试验样品的热时间常数 $\tau = \frac{GC}{S\lambda}$ (式中: G 为质量, g ; C 为比热, $J/(g \cdot ^\circ C)$; S 为散热面积, cm^2 ; λ 为散热系数, $W/(cm^2 \cdot ^\circ C)$ 与其所用的材料性质、重量、结构形状以及周围介质的性质和运动速度等有关,此常数很难通过计算来求得。因此试验样品达到温度稳定所需的时间只能通过实验来取得。

图 1 为温度突变试验时试验样品的加热或冷却曲线。试验样品某点温度达到 $0.632\Delta T_w$ (ΔT_w 为稳定温升) 时所需之时间即为试验样品该点的热时间常数,取其 4 倍值,即得开始温度达到稳定的时间。

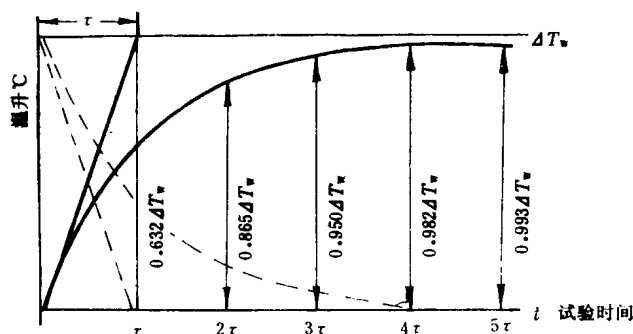


图 1 加热或冷却曲线

1.7.2 在低温和高温试验时,试验持续时间通常是在试验样品达到温度稳定后开始计算。持续时间应根据试验样品特点和试验目的从下列等级中选取: 2, 16, 72, 96 h。

1.7.3 如果对试验样品是进行与耐久性或可靠性相联系的试验时,则试验持续时间应由有关标准根据产品特点和实际工作要求另行规定。

1.7.4 如果某种试验样品,在高温或低温条件下使用或储存的时间比达到温度稳定的时间为短,例如某种飞行器和导弹,若用温度达到稳定后来计算持续时间(试验 A 和试验 B)进行试验,则可能给试验样品带来过分的应力。要避免这种过分应力,可按试验 A 或试验 B 规定的低温和高温试验方法来进行试验,但试验持续时间则应根据试验样品对实际情况的精确模拟来确定,如采用一倍或两倍的热时间常数或是根据其实际经历时间作为试验持续时间。

1.7.5 虽然具有大的热时间常数的设备可比作日温度变化的情况,通常按样品温度可达稳定的试验 A 和试验 B 进行试验。但若要求精确模拟实际环境的情况,则可采用试验样品未达温度稳定的试验,持续时间可按本章 1.7.4 条的规定。

1.7.6 对试验时间比温度达到稳定所需时间为短的试验,例如对某些大设备(如具有大的热时间常数值电源变压器和电机)要求在短时间内获得高温或低温的情况。这时可选用比设备预期使用的环境温度较高些或较低些的试验温度,以此来加快试验样品温度的变化,缩短试验的时间。

1.8 空气速度

试验箱(室)中空气和试验样品间的热交换效率取决于空气速度。

在高(低)温试验中,期望能精确模拟实际环境中的空气速度,但由于所掌握的实际环境知识有限以

及难于在试验箱(室)中提供确定的空气速度(包括端流度等),这种模拟通常是做不到的。因此,一般必须按“最坏情况”来进行试验,以包罗各种可能性。

试验非散热试验样品时,在一定时间内,较高空气速度导致较高的(对低温试验为较低的)试验样品温度,因此,进行这种试验的试验箱(室)推荐使用高空气速度(在空载时测量最好不低于 2 m/s)。

试验散热试验样品时,如果试验样品最热点的温度高于周围空气温度,则较高空气速度将降低该点的温度,故在大多数情况下,只要可能,这种试验就应在无强迫空气循环(即自由空气条件)试验箱(室)中进行。当试验箱(室)的加热(或冷却)只能靠空气循环来实现的场合,可使用有强迫空气循环的方法作为代替的方法,即在试验 Bd(Ad)中用方法 A 作为代替方法。

1.9 再现性

为了获得再现性,温度试验必须这样设计:使试验样品某点上所达到的最高(或最低)温度是一样的,与进行试验的试验室无关。

为了得到再现性,在整个条件试验期间必须很好地规定试验箱(室)空气的温度—时间过程。在精确模拟实际环境做得到的情况下,就可为模拟这种情况来专门设计温度—时间过程。

对具有相对于试验样品达到温度稳定所需时间比较为短的持续时间的试验设计,在一般情况下,推荐采用下列试验温度—时间过程(见图 2)。

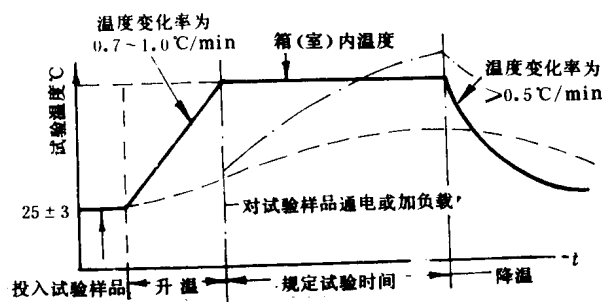


图 2 温度渐变的高温试验,试验箱与试验样品温度—时间过程示意图

----非散热试验样品;——散热试验样品

注:规定试验持续时间是从试验箱(室)空气温度开始到达与规定试验温度之差在 3 °C 以内时算起。

应当说明,图 2 的温度—时间过程在下列细节方面和试验 A 与试验 B 不同:

- 开始时温度范围较狭(25 ± 3 °C);
- 建立试验温度期间试验箱(室)空气温度变化的速率;
- 试验持续时间是从试验箱(室)空气温度达到规定值时算起。

2 不同试验方法的应用依据——传热原理

2.1 热对流

2.1.1 在试验箱(室)内进行试验时,对流散热在散热试验样品热交换中占有极重要的部分,特别在较高空气循环速度时更是如此。

2.1.2 热从试验样品表面传递到周围空气中热交换效率,受周围空气循环速度的影响。空气速度愈高,则热交换的效率也愈高。因此,在环境温度相同时,空气速度愈高,试验样品表面温度变化(增高或降低)也愈快,达到温度稳定所需的时间也愈短,参见附录 B(参考件)。

气流除影响试验样品表面各点的温度外,还影响其周围温度场的分布。气流的这些影响除与其速度有关外,还与其作用方向有很大关系。

试验样品表面温度及温度场的分布与气流速度和方向之间的关系,尚无什么简单规律可循(参见图 3 及附录 B)。为了模拟与实际环境相一致的条件,试验时就要对试验箱(室)规定某一特定的气流速度

和气流方向,这将涉及到试验箱(室)设计方面的许多问题。

因此,在高温和低温试验时精确模拟实际环境的空气速度和方向是最合乎理想的。但是这在实际试验工作中是难以做到的。因为要在试验箱(室)中改变和调节气流速度和方向(包括湍流等)是十分不易的,通常是做不到的。

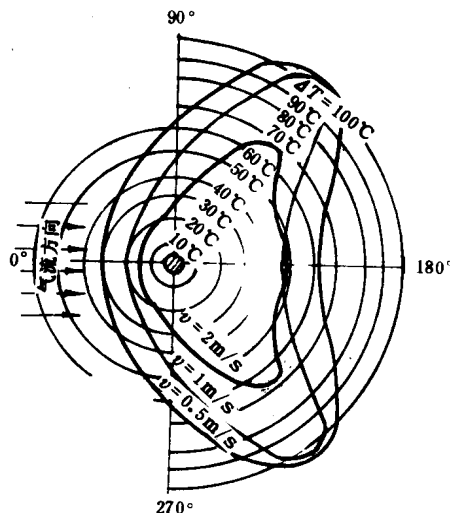


图3 在速度为0.5、1和2 m/s的气流中稳定发热圆柱体周围的温度分布
单位面积的散热=1.5 kW/m²; ΔT —试验样品表面温度超过环境温度的温升; v —空气速度, m/s;
空气温度=70℃; 圆柱直径=6 mm

注:计算曲线时,试验样品中的热传导忽略不计。

2.1.3 在试验非散热试验样品时,比较高的空气循环速度可以加速试验样品与周围空气的热交换效率,缩短达到热平衡(温度稳定)的时间。因此,推荐使用具有较高空气循环速度的试验箱(室)来进行这种试验,平均空气循环速度为1~2 m/s(前者可用于较小的试验箱,后者可用于较大的试验箱)。

在试验散热试验样品时,较高的空气速度将影响试验样品性能的测试。只有明确规定的且可重现的试验条件,才能使试验结果较方便地与实际情况相比较。故在大多数情况下,希望试验时空气速度越低越好,这种必要性导致采用“自由空气”条件。

2.1.4 “自由空气条件”是指无限空间内的空气条件。此时,试验样品周围空气运动仅受散热试验样品本身的影响,由试验样品放射出来的能量应被周围空气完全吸收掉。因此,试图在试验箱中重现自由空气条件是不切实际的(参阅本标准第3章)。

附录A(参考件)说明,采用模拟自由空气条件,通常并不需要使用价格高昂或者尺寸很大的试验箱(室)。因为模拟自由空气条件的试验箱(室)有某些技术上的优点,并较规定有强迫空气循环的条件易于做到,所以在对散热试验样品进行低温和高温试验时,应优先采用模拟自由空气条件的试验箱(室)来进行。

根据本标准第3章的说明,采用无强迫空气循环方法进行试验可能产生一些困难。为此规定了两种采用低强迫空气循环风速的方法供选择:

第一种方法,适用于试验箱(室)尺寸大得足以满足附录A的要求,但试验箱(室)的加热或冷却要求采用强迫空气循环;

第二种方法,适用于试验箱太小、不能满足附录A的要求,或基于别的原因,如第一种方法不能使用时。

2.2 热辐射

2.2.1 对散热试验样品试验用的试验箱(室),特别是在高温试验时,不能忽视以辐射方式进行的热交

换,在热辐射为黑的(简称热黑的,辐射系数近于1)试验样品和热黑箱(室)壁的情况下,其间的热交换几乎一半是通过辐射换热方式进行的〔见附录C(补充件)中图C1〕。如果散热试验样品在箱壁为热白的或箱壁为热黑的试验箱(室)内经受某温度试验时,试验样品的表面温度将会显著地不同,所以,若想得到可重现的试验结果,有关标准对试验箱箱壁的辐射系数和温度应加以限定。

2.2.2 在试验样品和箱壁之间,若有不符合对箱壁热颜色和温度要求的其他试验样品、加热或冷却元件、安装架等遮掩时,则试验样品和箱壁之间的热辐射将受到影响。

试验样品上某点的“看视因数”是指该特定点所能“看到”箱壁部分的百分数来确定的。试验样品每一点的“看视因数”不应为不符合对箱壁热颜色和温度要求的装置所干扰。

2.2.3 理想“自由空气”条件下,试验样品向周围空气传输出来的热完全为周围空气所吸收,这是由于自由对流和辐射交换的热完全被吸收而出现的。

通常大多数产品(包括设备和元件)是在十分近似热黑的环境中运行的。实际上,将试验箱(室)内壁做成近似于热黑的要比做成为热白的容易些。因为大多数涂料和(未抛光的)材料是更接近热黑的而不是热白的〔参见附录G(参考件)〕。同时,由于材料随时间的老化效应,要长时间地保持箱(室)壁为热白的将特别困难。

如果箱壁温度变化是在所规定试验温度(按开〔尔文〕温度计算)的3%之内(对高温试验),且箱壁的辐射系数是在0.7到1之间变化,则试验样品表面温度的变化通常小于3K。因为辐射换热是与试验样品表面温度四次方和箱壁温度四次方之差成正比,低温时的辐射换热与高温时比较不那么显著,故在低温试验时对箱壁热颜色和温度的要求也就并不怎么严格。

2.2.4 通过热辐射进行的热交换主要取决于试验箱(室)壁的温度,这种依赖关系就是为什么当试验样品表面温度和环境温度之间的差值很大时,不按照附录C对试验样品温度进行修正(包括对流和辐射影响的修正)就不能用强迫空气循环来进行试验的主要原因。

2.3 热传导

2.3.1 通过热传导的换热,取决于与试验样品相联结的安装架及其他连接件的热特性。

2.3.2 有许多散热设备和元件,使用时要求安装在吸热的或其他传热良好的装置上。这时,有一定数量的热会通过热传导有效地散发出去,故有关标准应对安装架的热特性作出规定,而且在进行试验时应再现安装架的这些热特性。

2.3.3 如果设备或元件可采用具有不同热传导值的安装架进行多种方式安装时,则在试验时应考虑最坏情况。不同的应用情况,最坏情况也不相同:

a. 对散热试验样品的高温试验,因试验时热是由试验样品到安装架这一方向传输的,这时,最坏情况是在安装架的热传输量尽可能小时,即安装架的热传导率小(热绝缘)时。

b. 对非散热试验样品的高温试验,当试验样品尚未与环境达到热平衡(热稳定)时,热是由箱壁经安装架到试验样品传输的。这时,最坏情况是安装架的热导率大时,所以安装架的热容量(或热时间常数)应该是小的,以避免安装架热起来时间过长,延滞由箱壁到试验样品的热传输。

c. 对于散热试验样品和非散热试验样品的低温试验,试验时热是由试验样品经安装架到箱壁传输的,最坏情况(试验样品温度最低)是在热传输效率高时,即在安装架热传导率高时。

2.4 强迫空气循环

2.4.1 试验箱(室)大到足以符合附录A的要求,但箱(室)体内的加热和冷却可能需要采用强迫空气循环。

这种情况下,试验样品应先放在具有室温的试验箱内,进行有和无强迫空气循环两种情况的检查,使试验样品表面上诸代表点温度不会过分受到箱内强迫空气循环速度的影响。结果试验样品上任一点的表面温度,在加上强迫空气循环后不降低5℃以上,则强迫空气循环的冷却效应就认为是合理的小,与在无强迫空气循环试验箱内进行的试验一样,可忽略不计。

2.4.2 如果试验箱相对于试验样品太小,不能满足附录A的试验要求,或按本标准2.4.1条在有、无

强迫空气循环时所测得之表面温度差超过 5℃ 时,则应在试验箱外进行探索性试验:

先将试验样品放在(试验箱外的)试验室内,施加有关标准为试验条件所规定的负载,测量试验样品表面一些代表点的温度,以给出计算规定试验温度时表面温度的基础。

对环境温度和表面温度之间的小温差 ΔT_1 来说,只要环境温度的变化 ΔT_2 小时,就可假定温差 ΔT_1 在不同环境温度时是一样的。如果是 $\Delta T_1 < 25^\circ\text{C}$ 、且 $\Delta T_2 < 30^\circ\text{C}$,则其误差在 3℃ 以内。

不同环境温度时,试验样品表面温度与其单位时间内散热功率之间的关系见附录 C。已知某环境温度时的表面温度,使用附录 C 的计算图,就可计算出在其他任何环境温度时的表面温度,这样,当试验样品在室温时的表面温度已知时,通过附录 C 计算图的运用,就可扩展计算出在规定试验条件时的表面温度范围。附录 C 的计算图至少可以用到 $\Delta T_1 = 80^\circ\text{C}$ 和 $\Delta T_2 = 65^\circ\text{C}$ 时。

2.4.3 当采用本标准 2.1.4 条中第一种和第二种方法的任一方法选取代表性点进行检查时,应详细了解试验样品(如温度分布、热极限点等),对试验样品上代表点的选择主要是一项熟练判断问题。由于无强迫空气循环试验具有较高的再现性,故作型式(鉴定)试验时推荐优先选用无强迫空气循环的试验方法。

对探索性试验来说,可能需用一系列类似试验(如类似的元件)来检查试验箱的性能,而对另一些情况(如对不同的设备)来说,在每次试验进行之前需要先对试验箱进行评价。

3 试验箱(室)

3.1 一般要求

3.1.1 试验时,要在试验箱中再现自由空气条件是不切实际的,但模拟自由空气条件的效应还是可能的。

即使在很大的试验箱中,空气循环和试验样品周围的温度分布与实际自由空气条件时的情况还是不等同的。尽管如此,实验结果和试验经验表明,一个相当大的无强迫空气循环的试验箱,对试验样品温度影响的情况与自由空气条件的影响情况大致相同。

模拟自由空气条件效应所需要的、与试验样品大小和散热情况相关联的试验箱(室)大小的要求,见附录 A。

试验箱(室)内下半部分空气不大受试验样品来的热对流的影响,因此在该处监测环境温度,上述一些要求是能成立的。但在某些情况下,采用无强迫空气循环来进行试验时会出现一些困难。现有多数试验箱中,不用强迫空气循环就不能做到对箱(室)的均匀加热或冷却,特别是对大试验样品进行试验,或是在同一试验箱(室)中同时试验许多产品时更为如此。

3.1.2 对散热试验样品的试验结果有重大影响的试验箱(室)的一些参数如下表。

热传输机理	对 流		辐 射	传 导
	自由空气	强迫空气循环		
试验箱参数	尺寸;空气温度	空气速度;空气温度	箱壁温度;箱壁辐射系数;看视因数	安装架的热特性

3.2 试验箱(室)达到要求试验条件的方法

3.2.1 模拟自由空气条件效应的试验箱(室)设计

加热和冷却箱(室)体的元件不应放在工作空间中,因为箱(室)内温度的控制就是依赖这些元件的温度变化来达到的,否则将引起工作空间内温度产生较大的波动。同时,箱(室)壁温度亦应避免发生大的波动,以使辐射影响问题缩减到最低程度。

为得到最佳的结果,试验箱(室)体所有箱壁均应加热或冷却。采用液体循环来加热或冷却所有的箱(室)壁,是使箱(室)壁温度避免产生大波动的一种合适方法,箱(室)壁的辐射系数应该满足试验的要求。

对依靠空气循环来保持试验温度的试验箱(室),试验时可把试验样品置放在盒子内,然后再把盒子放入试验箱(室)内来进行试验。此时,盒子的容积应该满足试验的尺寸要求,且盒壁应满足辐射系数的要求。

3.2.2 有强迫空气循环的试验箱(室)设计

对由于尺寸大或高散热而不能使用自由空气条件试验箱试验的试验样品,应使用带空气流动(有强迫空气循环)的试验箱(室)。除有关试验箱(室)尺寸以外,对自由空气试验箱(室)的其他所有要求,有强迫空气循环试验箱(室)的设计均适用。

气流速度应符合这样的要求:不应太小,以保证试验样品在试验时不致过热,又不宜太大,以致试验样品在试验时出现过冷。气流的效应在附录 B 中作了较详细的说明。

在实践中,对非散热试验样品试验来说,气流速度以大些为好,平均风速可达 $1\sim 2\text{ m/s}$,试验箱(室)空载时可使风速大于 2 m/s ;对散热试验样品来说,气流速度以小些为佳,一般要求小于 2 m/s 。

因此,在技术经济许可的范围内,试验箱(室)的气流速度也可设计成可调节变化的,这样可扩大其应用范围。但是,尽管顺畅地变动气流的速度是有利的,然而在实践中业已发现, 0.5 m/s 的风速代表着一种好的折衷方案。

气流应尽可能均匀一致,并使气流方向垂直向上,以使从上面对流所引起的气流变化缩减到最低限度。如果风扇在前箱(室)产生正压,则可使空气从前箱(室)经过过滤器(如玻璃纤维栅网)逸出,这样可得到均匀的气流。在前箱(室)也可装设控制箱(室)温度的加热器,或是使用织网加热器来代替,把加热器和过滤器结合在一起。

3.3 箱(室)壁的辐射系数

如果要模拟无限空间的自由空气条件,则箱壁应该是热黑的。附录 G 的表 G2 列出了一些材料的辐射系数值。由表可以看出:辐射系数在 0.7 以上的材料是易于得到的。对于中等温度下运行的试验箱(室)壁的处理,大多数无光泽涂料完全能满足要求。

3.4 安装架的热特性

对安装架热特性的要求参阅本标准 2.3 条。各种材料的热传导率可见附录 D(参考件)的表 D1,一些元件线端材质和尺寸对表面温度的影响特性见附录 D 的图 D1。如果安装架或连接线(如引线)的热传导率对试验的结果有重大影响,则在所有试验中引出线的粗细(直径或面积)及长度应是固定的,或按有关标准规定。

4 测量

4.1 温度

在非自由空气条件下的有关散热试验样品试验的结果说明,对试验样品上(或其中)不同点温度的测量是必要的。

温度的测量是最一般、最通常的测量。但为了得到试验所要求的高精度应在有关标准中规定相应的测量仪表和测量方法。

测量温度的方法有:直接测量法(如温度计法、色变效应或熔化效应法等)和间接测量法(如热电偶法、电阻法、红外线传感器法等)。

温度测量方法的选择参见附录 E(参考件)。

4.2 空气速度

了解试验箱(室)内空气的速度,对试验的规范虽然不是主要的,但还是很有用的。例如,在有强迫空气循环的试验箱(室)中试验多个试验样品时,要保证箱(室)中条件的均匀性就得要有一定的空气速度。

空气速度的测量方法有风杯风速计、卡他温度计、热球风速计和热线风速计等,其使用的选择建议参见附录 F(参考件)。

4.3 辐射系数

GB 2424.1-89

试验散热试验样品时,特别对有高发热功率的散热试验样品或高的试验温度来说,辐射换热占有很重要的地位。这时,对箱壁的辐射系数就应进行测定,并还需定期地予以检查。

辐射系数的测量建议参见附录 G。

附录 A
无强迫空气循环试验时箱体尺寸
对试验样品表面温度的影响
(参考件)

A1 为确定高温试验箱(室)最小允许尺寸所进行的一系列试验结果如图 A1 所示。在这种试验箱中对某种试验样品来说,其表面温度近似于“自由空气”条件下的数值。

当尺寸不同、单位表面散热也不同的试验样品,在不同尺寸的高温试验箱中经受环境温度(按 GB 2422 中有关规定)为 70℃ 的高温试验,所用试验箱合格的条件是:在此试验箱中测得的试验样品表面温度,同比此试验样品尺寸大得多的最大试验箱中所测得之表面温度的偏差不应大于 5℃,箱壁温度与试验温度之差应不超过 5℃。

试验样品是立方体的,且差不多是热白的(辐射系数近于 0),以给出的所有热量几乎都是通过对流方式耗散的这一种最坏情况,试验箱壁则是接近热黑的(辐射系数近于 1)。

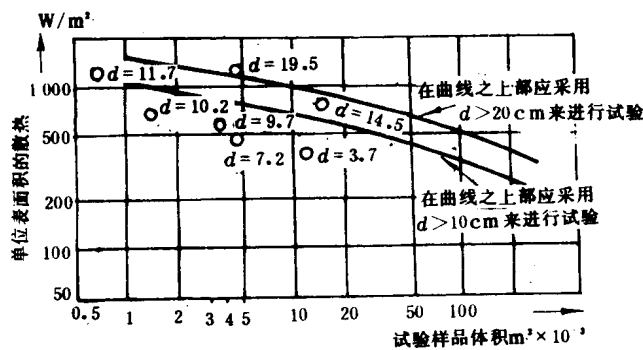


图 A1 在大型试验箱与小型试验箱内试验,试验样品在表面温度之间的差值达 5℃ 时单位面积的散热量
 ○—试验数据; d —试验样品表面和箱壁间的距离, cm

附录 B
气流对试验箱条件和试验样品表面温度的影响
(参考件)

B1 气流对试验样品温度影响的计算

在稳定发热时,发热体表面的散热量 P 由式(B1)计算:

$$P = \lambda(\gamma) FT \quad \text{..... (B1)}$$

式中: P ——发热体单位时间内由表面散发至周围介质的热量, W,

F ——发热体散热表面面积, m^2 ;

T ——发热体的稳定温升, K;

$\lambda(\gamma)$ ——散热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

由式(B1)得出发热体稳定温升为:

$$T = \frac{1}{\lambda(\gamma)} \cdot \frac{P}{F} \quad \text{..... (B2)}$$

其中 $\lambda(\gamma)$ 是一个复杂参数,与许多因素有关,主要与发热体散热面形状、位置和气流流动情况等有关,具体应根据实际条件进行试验确定。在图 B1 的试验情况下,有关试验结果表明:散热系数与气流速

度具有下列关系：

$$\lambda(\gamma) = a + bv$$

式中： v ——气流速度，m/s；

a ——与气流速度有关的数值， $a \geq 10$ ；

b ——与气流速度有关的数值，试验结果表明在气流速度低时， $b \approx 3$ ， b 值随气流速度的增加而增加，当气流速度为 3 m/s 时， $b \approx 8$ 。

根据图 B1 的试验结果具有下列关系：

$$v < \frac{a}{b} < 3$$

在 等于 0.3 m/s 时，应用上列关系式求得的稳定温升 T 的误差等于或小于 10%。

B2 电工产品试验样品的一些试验结果

由于电工产品的结构与形状比较复杂，功率各异，气流速度对其散热的影响很难找出一个统一的关系式来。在某些电工产品进行低温试验后恢复时，改变气流速度可得出气流速度对试验样品“发热”的影响，求得其与试验样品热时间常数的关系，如图 B2 所示。

B3 试验箱内进气和出气之间的温度差

要保持试验箱内气压不变，进气量和出气量应是相等的。进气和出气间的温度变化即为单位时间内空气所带走的热量：

$$\Delta T_{\text{空气}} = \frac{P}{C_p G} = \frac{P}{C_p S v r} \dots\dots\dots (B3)$$

式中： P ——单位时间内发热体表面散发至周围介质的热量，W；

C_p ——恒定压力时空气的比热容，1 000 J/(kg · K)；

G ——单位时间的进气或出气量，kg/s；

S ——试验箱的截面积，m²；

v ——试验箱内的平均气流速度，m/s；

r ——空气密度，1.29 kg/m³。

对于气流速度为 0.3 m/s、箱内单位时间散热功率为 100 W、内边长为 0.5 m 的立方型试验箱，代入式(B3)得到：

$$\Delta T_{\text{空气}} = \frac{100}{1\,000 \times 0.5^2 \times 0.3 \times 1.29} \approx 1^\circ\text{C}$$

进出气的温度变化量仅 1℃。这说明对散热功率等于小于 100 W 的试验样品，用内边长为 0.5 m 的立方体试验箱进行试验是可行的，对于较大功率(1 kW)的试验样品，若要持进出口空气温度变化值仍为 1℃时，则就要采用较大的试验箱(例如每边为 1.5 m 的立方体箱)来进行试验。否则，要保持允许的温度差，就得采用较高的气流速度。

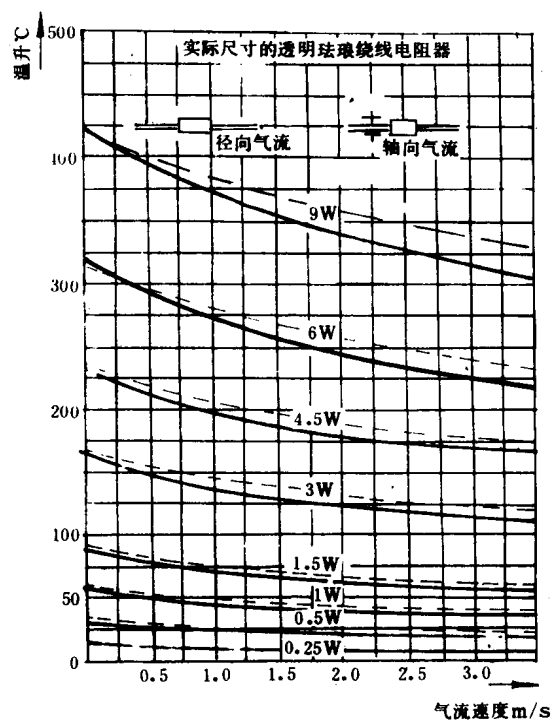


图 B1 气流速度对绕线电阻器表面温度影响的实测数据
—— 径向气流；--- 轴向气流

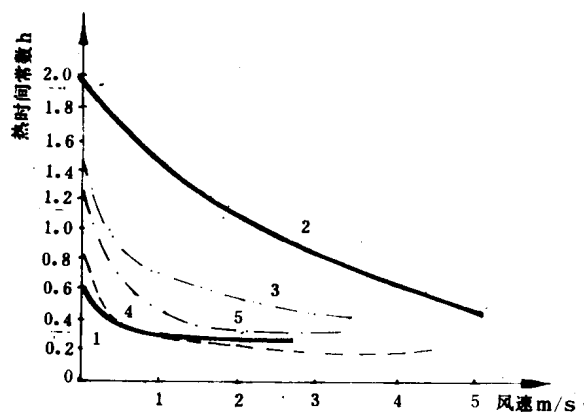


图 B2 试验样品的热时间常数与气流速度关系的实测数据
1—CJ0-75 线圈(电阻法); 2—QC810-60 接触器线圈表面; 3—Z2-41 直流电机磁场绕组(电阻法);
4—Z2-11 直流电机磁场绕组(电阻法); 5—CZKN2-2 内组合开关接线头表面

附录 C

热交换计算及计算图 (补充件)

C1 符号说明

P ——单位时间内试验样品传输的热量, W;

A_2 ——试验样品表面积, m^2 ;

A_1 ——箱壁的表面积, m^2 ;

T_s ——箱壁温度, K ;

T_s ——试验样品表面温度, K ;

ϵ_1 ——箱壁的辐射系数;

ϵ_2 ——试验样品的辐射系数;

σ ——斯蒂芬—波尔兹曼(Stefan—Boltzmann)常数: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

a ——试验样品平均尺寸, m ;

α ——对流散热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。在自由空气条件下, 其值取决于 $(T_s - T_a)$ 和 a 。

C2 辐射的热传输

C2.1 辐射散热通用表达式

根据辐射散热理论, 箱内试验样品经辐射向周围箱壁传输的热量可用下列公式描述:

$$P = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right)} A_2 (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{..... (C1)}$$

C2.2 辐射散热的两个特例

a. 对无限空间的试验箱, 满足自由空气条件时, 应当 $A_1 \gg A_2$, 则上式可写为:

$$P = \epsilon_2 \sigma A_2 (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{..... (C2)}$$

b. 对热辐射为黑色的箱壁(即 $\epsilon_1 = 1$), 可得到与自由空气条件同样的表达式, 与试验箱的大小无关。

C2.3 辐射散热通用表达式分析

令:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right)}$$

则通式改写为:

$$P = \sigma E A_2 (T_s - T_a) (T_s + T_a) (T_s^2 + T_a^2) = \sigma E A_2 (T_s - T_a) f(T_s, T_a) \quad \text{..... (C3)}$$

其中:

$$f(T_s, T_a) = (T_s + T_a) (T_s^2 + T_a^2)$$

$$\frac{P}{A_2} = \text{单位表面的散热量, } \text{W}/\text{m}^2$$

$$\frac{P}{E A_2 (T_s - T_a)} = \sigma f(T_s, T_a)$$

其关系图的描述如图 C1 和图 C2 所示。

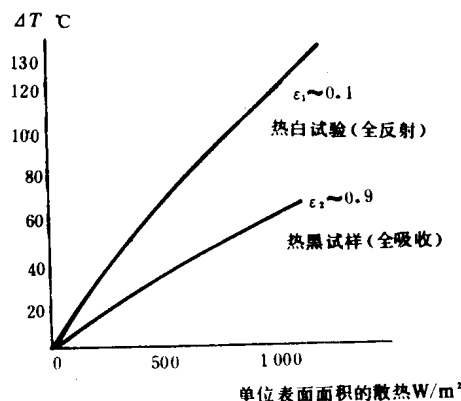


图 C1 试验样品辐射系数对温升的影响, 在箱壁为热黑的试验箱中, 热白和热黑试样经受 70°C 环境温度时, 其温升跟散热关系的比较(实验值)

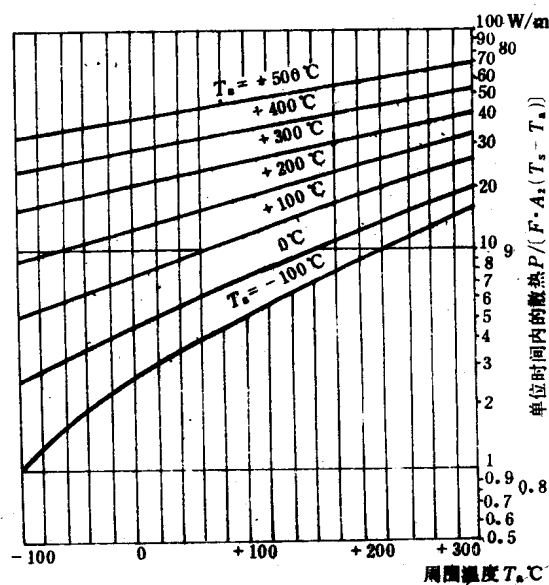


图 C2 不同周围温度 T_a 时, 试验样品表面温度 T_s 和单位时间内散热量 P 之间的关系

C3 辐射和对流的热传输

C3.1 热传输

假定箱壁与环境空气有同样的温度, 那么:

$$\frac{P}{A_2} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right)} (T_s^4 - T_a^4) + \alpha(T_s - T_a) = \sigma E(T_s^4 - T_a^4) + \alpha(T_s - T_a) \dots \dots \dots (C4)$$

在自由空气条件或热黑箱壁的情况下, $E = \epsilon_2$, 所以

$$\frac{P}{A_2} = \epsilon_2 \sigma (T_s^4 - T_a^4) + \alpha(T_s - T_a)$$

可进一步改写成:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{P}{A_2} = \left(T_s + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} T_s^4 \right) - \left(T_a + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} T_a^4 \right)$$

引入新变量:

$$X_s = T_s + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} T_s^4; X_a = T_a + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} T_a^4$$

得到:

$$\frac{P}{A_2} = \alpha(X_s - X_a) \dots \dots \dots (C5)$$

这种关系可以用计算图来表示, 举出图 C3 和图 C4 两例以示说明(为了使用方便, 计算图中温度单位为 $^{\circ}\text{C}$)。

C3.2 计算图

前述 α 取决于 $(T_s - T_a)$ 及平均试验样品尺寸 a 。根据 α 的两个不同值, 对 $\epsilon_2 = 0.7$ 的计算图列出图 C3、图 C4 两个示例。

制图所用的几个特征数值如表 C1 所示。

表 C1

项 目	图 C3	图 C4
平均试验样品尺寸	$a=0.2\text{ m}$	$a=0.5\text{ m}$
平均温升	$T_s-T_a=35^\circ\text{C}$	$T_s-T_a=100^\circ\text{C}$
与上述试验样品尺寸及温升相对应的 对流散热系数	$\alpha=5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $\frac{\epsilon_2\sigma}{\alpha}=0.8\times10^{-8}\text{K}^{-3}$	$\alpha=8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $\frac{\epsilon_2\sigma}{\alpha}=0.5\times10^{-8}\text{K}^{-3}$

具体图示见图 C3 和图 C4。用该图计算试验样品温升示例如下：

问：在 20°C 自由空气中散热试验样品表面温度达到 70°C ，在 55°C 自由空气中耗散同样多的热量时，其表面温度是多少？

答：因为 $T_s-T_a=50^\circ\text{C}$ ，图 C3 计算图中所用 α 值最接近于实际值。

求法：在图 C3 中，从标尺 T_s 上的 $+20^\circ\text{C}$ 点画一直线到标尺 T_s 上的 70°C 点；记下与枢轴线的交点。再从标尺 T_s 上的 55°C 经枢轴线上该交点画一直线，并延伸到与 T_s 相交，得到 $+98^\circ\text{C}$ 这一交点，该交点就是所求试验样品在 $+55^\circ\text{C}$ 耗散出同样热量时的表面温度。

注：温升对试验样品辐射系数 ϵ_2 的依赖关系如图 C5 所示。其中 $a=0.1\text{ m}$ ， $\epsilon_1=1.0$ ，周围试验室温度 $T_{a0}=20^\circ\text{C}$ 。

C4 试验 A 和试验 B 用的相互关系计算图

比较图 C3 和图 C4 可看到，所得的温升随 α 值只略有变化，因此在试验 A（低温）和试验 B（高温）中仅给出一个以 $\alpha=5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 为依据的计算图。

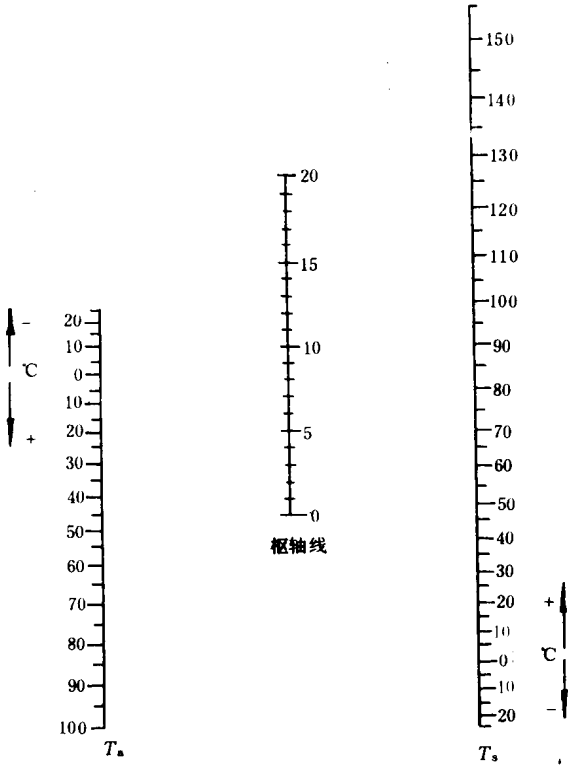


图 C3 在不同环境温度 T_a 时判定试验样品表面温度 T_s 值的计算图
平均试验样品尺寸 $a=0.2\text{ m}$ ，试验样品辐射系数 $\epsilon_2=0.7$

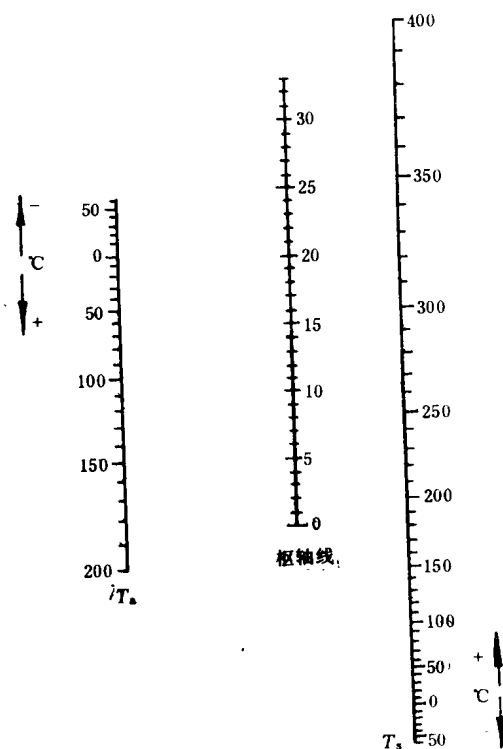


图 C4 在不同环境温度 T_a 时判定试验样品表面温度 T_s 值的计算图
平均试验样品尺寸 $a=0.05\text{ m}$, 试验样品辐射系数 $\epsilon_s=0.7$

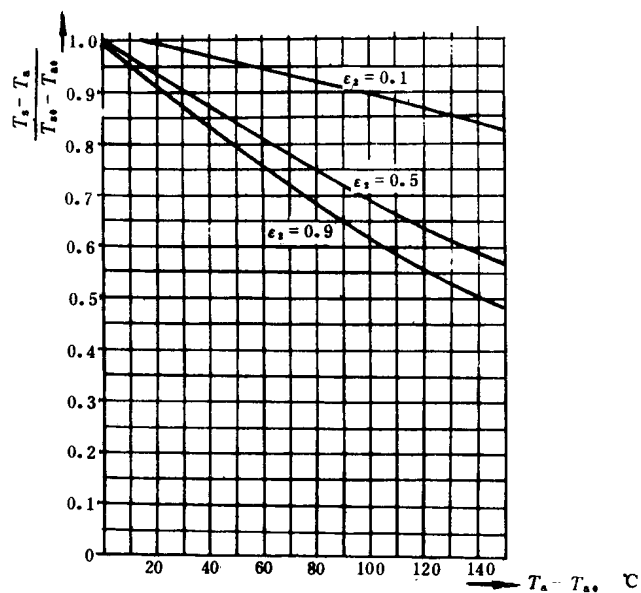


图 C5 试验样品的温升与其辐射系数 ϵ_s 之间的关系
 T_{ao} —试验室环境温度(+20℃); T_{so} —在“自由空气”条件下经受试验室环境温度时试验样品的表面温度
平均试验样品尺寸 $a=0.1\text{ m}$

附录 D
普通材料的热导率及元件线端
材质和尺寸对表面温度的影响
(参考件)

D1 一般材料的热导率见表 D1。

表 D1

材 料	温 度 t °C	热 导 率 $W/(m \cdot K)$
银	20	411
纯 铜	20	395
商品铜	20	372
纯 金	20	311
铝	20	229
杜拉铝(A1-Cu)	20	165
纯 镁	20	143
电子材料(Ni-St)	20	116
黄 铜	20	81~116
锌	20	113
锡	20	66
锻造的纯铁	0	59
铁	200	52
含碳 3% 的铸铁	20	58
铁-铬钢	20	40
铁-镍铬钢	20	14.5
镍	18	59.5
镍-银(Ni-Cu-Zn)	0	29.3
纯 铅	0	35.1
石墨(压实的)	20	12~174
耐 火 土	100	0.5~1.2
混 凝 土	20	0.8~1.4
砖(干的)	20	0.38~0.52
平板玻璃	20	0.76
大 理 石	20	2.8
电 木	20	0.233
橡 胶	20	0.13~0.23
高温玻璃	20	0.184
赛 璐 珞	20	0.215
山毛榉木(顺纹理)	20	0.35
橡树(横纹理)	20	0.17~0.21
橡树(顺纹理)	—	0.37
松木(横纹理)	20	0.14
松木(顺纹理)	—	0.26

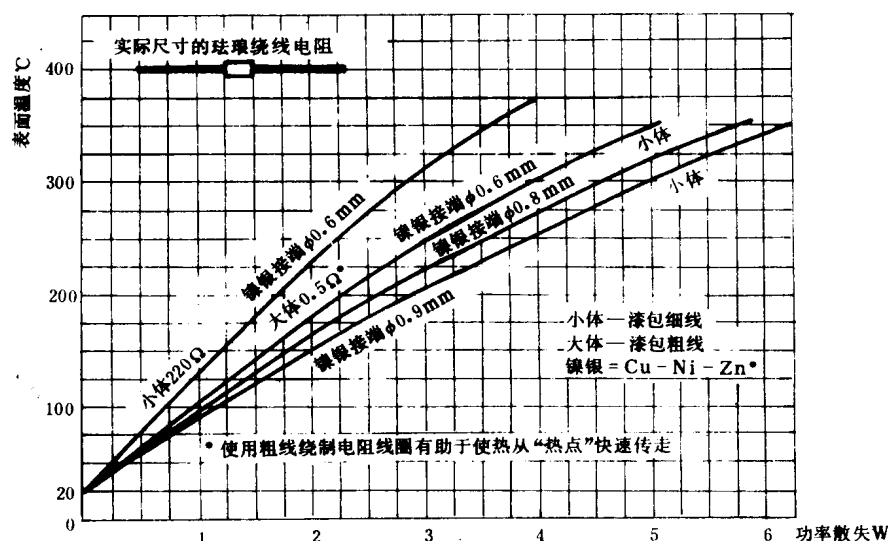


图 D1 元件线端材质和尺寸对其表面温度的影响

附录 E

温度的测量

(参考件)

E1 一般说明

E1.1 空气和液体温度的测量通常采用水银温度计或酒精温度计,由有关标准规定。

E1.2 对固体材料温度的测量,应用铂电阻、热敏电阻和热电偶以及线圈和绕组本身的电阻等。测量时要求测量的热容量要小于试验样品的热容量,并且其热惯性(或热时间常数)要小。此外,测量装置和试验样品间的热阻要小,且连接线传导的热量应保持在最小值;供给传感器的热功率应尽量低,足以避免传感器自身过热或是加热试样。

E1.3 当散热试验样品和试验箱壁之间有热交换时,参与热交换材料的表面温度是很重要的。表面温度的测量有两种方法:一种是测量器件跟待测温度表面相接触;另一种是它们之间不相接触。

E1.4 应注意在跟表面有接触的场合里,表面可能污染成一层难以去除的物质。因此,在某些情况下,例如在对空间运载器进行试验时不允许使用这些方法。

E2 使用变色或熔融效应法

E2.1 一些材料的颜色能随温度变化,其颜色在一定温度范围内有规则地变化,例如液晶体,它所达到的温度通过跟有关色谱相比较而得出。另一些材料,当温度增加到一定值时其颜色突然改变,但当温度下降时却没有相反的颜色变化。这些材料作为色笔或特种漆使用时,可将它薄薄地涂在待测温度的试验样品表面。还有些自粘胶带也可用来作温度指示器。当温度上升超过预定值时,自粘胶带就改变颜色。在其他情况下,也可用某些材料的熔点来测量温度。

在上述各种例子中,具有颜色突然改变的场合,仅能用来确定已超过出现颜色(或状态)改变的温度;可是,也可用许多温度范围不同的温度敏感材料小样(色笔或特种漆)来估计试验样品所达到的温度。

E2.2 一般说来,应用上述各种温度指示器所能达到的精度决定于下述诸因素:

- a. 用在预定温度时指示器(或材料)状态改变作为温度指示的情况下,通常需用一系列敏感温度

不同的温度指示器。当指示器系列中的一个发生变化、而紧接其上的一个没有变化时,则表面温度就在这两个指示器的敏感温度之间。如果预定敏感温度不受其他因素影响,则测量的最大误差等于这两个敏感温度之差。

b. 颜色变化指示器还会由于材料老化而带来测量误差。当所用材料在稍低于标称敏感温度下长期使用时,就有在比指示温度为低的温度下发生颜色变化的危险。

c. 温度敏感材料也可能由于存在液体蒸汽或气体而受到影响。

d. 如果热辐射落到试验样品表面,则应采用某些预防措施:

当指示器覆盖在受辐射表面的一小部分时,要注意保证指示器不受到辐射加热,可使用反射材料把指示器遮盖住就可以了;

当指示器覆盖着受辐射表面相当大的一部分时,指示器的吸收系数应和被覆盖表面的吸收系数相同,否则指示器的存在将影响表面温度。

e. 在温度变化条件下使用上述方法时,应注意指示值可能比实际温度变化速率为慢,这将导致低估温度变化期间的实际温度。

E3 红外线传感器法

E3.1 红外线辐射的要点与说明参见附录 G。

E3.2 在测量温度时,必须知道辐射表面的辐射系数。扫描所得的红外线图象,事实上是辐射分布的图象,而不是温度分布的图象,通过对其中一个覆盖有辐射系数为已知材料的两个小块面积在同一温度下进行比较的方法,可得到较好的测量结果。

E3.3 传感器所覆盖的面积要小于待测温度的表面。因此当待测试验样品太小而不能用一般的辐射检测器时,就需要采用红外线显微镜。为了获得温度测量的高精度,所用仪器最好是能测定从试验样品小面积上发射出辐射的仪表。

E3.4 注意使所选区域应是十分平滑的,以避免受到传感器方向以外的显著辐射的影响。此外还应注意保证使外源辐射不要直接达到传感器,或直接经测量的小面积反射到传感器。

附 录 F 风 速 的 测 量 (参考件)

F1 风杯风速计

风杯风速计大都用在气象领域里。装有半球状风杯的交叉臂,在风的吹动下旋转。旋转速度与风速大小有关,风速越大,旋转越快,因此可以根据旋转速度来确定风速大小。风杯风速计的可用范围很广,现有许多尺寸的风杯风速计。利用小风速计,可在试验箱之类的小体积里测量空气速度。

F2 卡他(Cata)温度计

卡他温度计是一种特殊类型的玻璃温度计,系根据对流冷却效应设计的。测量原理是先加热卡他温度计,然后把卡他温度计放在被测点处冷却,冷却速度与被测点的风速有关。根据温度降低一定幅度(例如从 38℃ 冷却到 35℃)所需的时间来确定该点风速的大小。风速约从 0.05 m/s 到 10 m/s 的范围,温度约从 -10℃ 到 +30℃ 时可用。但由于温度计在每次测量后再进行测量时必须重新加温,因此这种方法比较麻烦。

F3 热线风速计和热球风速计

热线风速计和热球风速计的测量原理也是根据对流冷却效应制造的。

这两种风速计在测量时给测量元件定量的电功率,使测量元件达到预定的标准温度,当空气流过元件时,元件的温度下降,根据元件温度下降的幅度可以确定空气的速度。热线测量元件是由铂丝绕制成的,而热球风速计的测量元件在许多情况下是负温度系数的电阻。目前已有小尺寸和小热容量的元件,故测量元件的热时间常数可以取得很小;同时,可以测量很小截面上的气流速度,这对低风速的情况很有用。在热线风速计中,热线元件的冷却效应取决于线轴和气流方向之间的角度,当气流平行于热线方向,冷却效应最差。通过转动热线风速计测量元件,可以很精确地确定气流流向。

F4 应用选择

风杯风速计和卡他温度计只可用于大室(如人可以进入)。热线风速计和热球风速计则可用于小型试验箱。

适用于气候试验箱中风速的其他测量方法,有关标准可参考有关文献。

附 录 G

辐射系数的测量和辐射系数值

(参考件)

G1 引言

表面温度不同的两个物体(例如,试验样品和试验箱壁)之间,由辐射产生的热交换决定于它们的辐射系数。因此,必须知道进行辐射交换表面的辐射系数,以便能根据试验结果来评定工作条件下试验样品的特性。这种方法特别适用于散热试验样品。

辐射系数的测量方法应具有足够的精确度和适合用于实际环境试验,且只需较少量的仪器和时间,辐射系数的精密测量以及外层空间模拟试验箱内的辐射系数测量,往往要采用费用很高的方法,包括太阳辐射时,必须考虑不同光谱范围的入射辐射和反射辐射,且其中还要考虑辐射的吸收程度。对这种测量方法必须参考有关文献。

G2 辐射理论

这里述及的辐射理论与本附录 G4 章的测量方法有关。

从某一温度实体的单位表面射入半球的辐射功率 M 和同一温度的黑体的相应辐射功率 M_s 的关系,由式 G1 表示:

$$M = \epsilon M_s \dots\dots\dots (G1)$$

式中: M_s ——斯蒂芬—波尔兹曼(Stefan—Boltzmann)定律给出:

$$M_s = \epsilon T^4 \dots\dots\dots (G2)$$

式中: T ——用 K 氏温标表示的温度;

σ ——斯蒂芬—波尔兹曼常数,其值为:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

而 ϵ 称为“半球总辐射系数”。在温度 T 下的黑体辐射频谱分布由普朗克(Planck)辐射定律给出,而辐射强度最大值的波长 $\lambda_{\max}$ 由维恩(Wien)代换定律给出:

$$\lambda_{\max} T = 2.89 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{K} \dots\dots\dots (G3)$$

实践中,式 G2 通常用下列形式:

$$M_s = C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

式中: $C_s = 5.67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) = 20.4 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}^4)$;

因此,对实体有下列关系式:

$$M = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 = \epsilon C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad \text{..... (G4)}$$

对温度各为 T_1 和 T_2 的两个物体间的辐射换热,单位表面的热通量 Q_{12} 为:

$$Q_{12} = \epsilon_{12} C_s \left\{ \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right\} \quad \text{..... (G5)}$$

辐射换热系数值 ϵ_{12} 取决于有关参与辐射表面的几何形状和辐射系数 ϵ_2 (试验样品的) 及 ϵ_1 (箱壁的)。

对于在密闭试验箱中的三维试验样品(在环境试验中是经常碰到的情况),如果针对两个同心球或无限长的圆筒(一个包围绕另一个)的辐射换热公式,假定为漫反射,根据朗伯(Lambert)定律,我们可得出:

$$\epsilon_{12} = \frac{\epsilon_2}{1 + \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \epsilon_2 \right)} \quad \text{..... (G6)}$$

式中: A_1 、 A_2 ——有关的表面面积。

实际上,当表面 A_2 (试验样品) 相对于表面 A_1 (箱壁) 愈小,则箱壁的辐射系数 ϵ_1 对辐射换热系数 ϵ_{12} 值的影响也就愈小。

G3 辐射理论的实际应用

G3.1 误差大小

对式 G4 进行对数微分得:

$$\frac{dM}{M} = \frac{d\epsilon}{\epsilon} + 4 \frac{dT}{T} \quad \text{..... (G7)}$$

如果确定 ϵ 值,其可达到的精度则取决于 T 和 M 的测量误差,采用通常的试验方法(外层空间的模拟除外),试验温度 T 的范围约在 200 K 和 400 K 之间。如在 200 K 时,温度测量误差为 0.25 K,这导致总误差为 0.5%。采用辐射换热方式时,两个温度的测量误差是十分重要的,即温差 $|T_1 - T_2|$ 和两个温度之一的 T_1 或 T_2 的精确测量是不可缺少的。

M 和 Q 两者都包括散热试验样品所耗散并通过其表面放出的电功率,该功率只是在对流换热变为零(仅当气压低于 0.01 N/m² 左右、且没有热通过安装架传导时)才等于所放射出的辐射功率。

G3.2 温度辐射的波长范围和能量分布

图 G1 示出了不同温度(K 值)的波长 $\lambda_{\max}$ 。这里,按维恩代换定律(式 B2)温度辐射强度成为最大,对于环境试验中所特别关心的温度范围内的 $\lambda_{\max}$ 大多落在远红外线区域内。

当简化形式的普朗克定律从 0 到 λ 积分,并把量 $M_{0 \dots \lambda}$ 跟相同温度 T 时的总辐射 M 相联系,分别按 λT 和 $\lambda/\lambda_{\max}$ 的关系导出图 G2 的结果。

显然,从 0 到 $\lambda_{\max}$ 的辐射部分只占总辐射的 25%,因为从 0 到 $2\lambda_{\max}$ 范围发射了 72%,从 0 到 $3\lambda_{\max}$ 范围则发射了总辐射的 88%。因此,在上述温度范围内的辐射测量,需采用在远红外线中较灵敏的辐射检测仪器,对这种装置的光学系统有用的材料是一种波长极限值约为 45 μm 左右的材料,例如牌号 KRS5 [44%TlBr(溴化铊)和 56%TlI(碘化铊)] 的材料。

G3.3 总辐射

用斯蒂芬—波尔兹曼定律(式 B1)对若干温度 T 计算出来的总辐射强度值列在表 G1 中。用目前的检测器能测量到的最小辐射功率是 $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{ W}$ 范围。对所检测的辐射功率级应用表 G2 的值来比较时,必须注意使被检测辐射表面对着检测仪器(只代表半球很小的一部分)所处的空间角,用这种方式能够测出垂直于表面辐射的辐射系数 ϵ_n 。

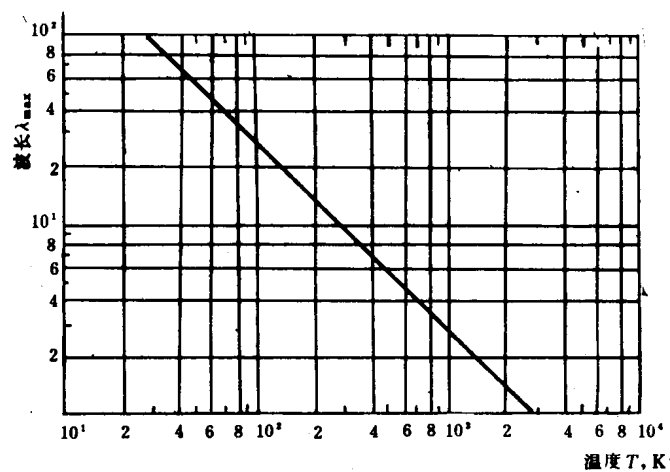


图 G1 Wien 维恩代换定律

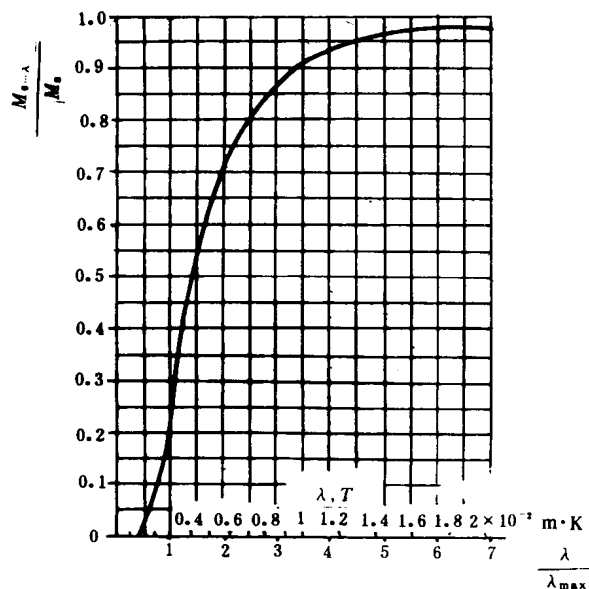
图 G2 $\frac{M_{0...λ}}{M_0}$ 与 $λT$ 之间的关系

表 G1 各种不同温度的半球总辐射

T K	M_0 W/m ²	T K	M_0 W/m ²
4	1.45×10^{-5}	300	459
10	5.67×10^{-4}	400	1 450
50	3.54×10^{-1}	500	3 540
100	5.67	1 000	56 700
200	96.7	2 000	907 000

G4 辐射系数的测量方法

G4.1 一般说明

下列各条是测量试验箱壁辐射系数较通用的方法,适用于试验 A(低温)和试验 B(高温)。

值得注意的是,对于某些材料和工艺措施,其辐射系数将随温度而有很大变化。所以,测量辐射系数时必须在适合的温度范围内进行。

G4.2 辐射系数值的测量

G4.2.1 在真空中与周围箱壁进行辐射换热的、散热为已知的试验样品表面温度的测量。

若采用一个表面辐射系数已知和尺寸大小接近于待试试验样品的标准试验样品,则这种方法在试验箱内模拟环境时基本上能最好地再现实际环境条件。因此,箱壁的有效辐射系数就能按测量数据计算出来。本方法只在诸箱壁的温差范围较狭窄(即高温试验规定温度范围内)时才可使用。

G4.2.2 辐射系数未知表面发出来的辐射,跟同一温度辐射系数已知表面辐射的比较测量。

按照辐射系数 ϵ 调校、标定过的用于比较测量的辐射检测器,可优先应用于本方法的测量。

为了标定,在紧接待测辐射系数的表面近旁部分要局部涂上辐射系数为已知的漆膜,在所选定的两个区域之间的热阻应尽量低,以使两个表面具有相同的温度。

首先测量辐射系数已知区域的辐射温度,方法是将辐射系数标度尺整定在已知值上,然后,将检测仪器对准待测试的表面,并调整辐射系数标度尺,直至得到相同辐射温度的读数为止。这时,由辐射系数标度尺读出的 ϵ 值是一个平均值,它高于真实值。仪表检测出来的是反射和发射两种辐射,前者辐射量随表面与检测仪器的距离而变化。因 ϵ 的平均值包括了两种辐射,而 ϵ 的真实值仅跟发射辐射有关,结果 ϵ 的平均值高于真实值。但是,对多数实际应用来说,这种方法的精度已足够。

如果需要更精确的测量,可使用已知辐射系数的对照标准件,将其与从试验箱壁取出的切片相比较。这种方法需要有专门的设备并要由专业人员进行。

G4.3 超过辐射系数最小值的检查

试验 A(低温)和试验 B(高温)对箱壁辐射系数的要求是按最小值给出的。因此,在许多情况下,只要箱壁辐射系数在某值之上就够了。这可以用一块辐射系数等于所规定最小值的平板装在箱壁上来实现,然后用辐射检测仪器扫描箱壁和平板,只要检查平板比箱壁较白还是较黑。

G5 提高试验箱壁辐射系数的方法

G5.1 涂覆和其他表面处理

为了得到辐射系数大于试验 A 和试验 B 所规定的最小值,可采用合适的漆和其他表面处理(例如喷砂,化学发黑)方法来达到。

应该注意,热黑并不一定意味着试验箱壁的光学颜色应是黑的;业已发现甚至用合适的无光白漆涂层也是合格的。

G5.2 机械结构

在箱壁上安装蜂窝状结构可以大大地提高辐射系数,该方法主要用于外层空间的模拟箱。对于带潮湿大气运行的试验箱来说,因为对箱壁的清洁工作不易进行,所以这种方法是不适用的。

G6 辐射系数值

为了选用材料,表 G2 给出半球总辐射系数 ϵ 和垂直表面的(法向)辐射系数 ϵ_n 。

一般说来,对平面金属表面,其平均值 $\epsilon/\epsilon_n = 1.2$;对平滑表面的其他物体, $\epsilon/\epsilon_n = 0.95$;对表面较粗糙的物体, $\epsilon/\epsilon_n = 0.98$ 。

对金属来说,其辐射系数随温度上升而增大,但对非金属材料 and 金属氧化物来说,温度上升时辐射系数就下降。

表 G2 温度 t °C 时的辐射系数

表 面	t , °C	ϵ_n	ϵ
抛 光 金	130	0.018	0.725
	400	0.022	
银	20	0.020	
抛 光 铜	20	0.030	
抛光、微暗的铜	20	0.037	
擦 光 铜	20	0.070	
黑色氧化铜	20	0.78	
氧 化 铜	130	0.76	
轧制的光亮铝	170	0.039	0.049
	500	0.050	
铝涂青铜色涂料	100	0.20~0.40	
抛光铸铝化硅	150	0.186	
清洁无光泽的镍	100	0.041	
抛 光 镍	100	0.045	
轧制的光亮锰	118	0.048	
抛 光 铬	150	0.058	
腐蚀但清洁的铁	150	0.128	0.158
金刚砂打光铁	20	0.24	
生红锈的铁	20	0.61	
轧 制 铁	20	0.77	
	130	0.60	
铸 铁	100	0.80	
严重生锈的铁	20	0.85	
氧 化 铁	80	0.613	
	200	0.639	
不锈钢(X5CrNi189)			
——抛光的	50	0.11	0.11
	115	0.12	0.13
	180	0.13	0.14
——喷砂的	-70	0.44	0.43
粗糙度(算术平均离差)	+40	0.46	0.45
$R_a = 2.1 \mu\text{m}$ (ISOR468)	+150	0.48	0.47
氧化、灰色的铁	20	0.23~0.28	
氧化、灰色的铅	20	0.28	

续表 G2

表 面	$t, ^\circ\text{C}$	ϵ_n	ϵ
清 洁 铋	80	0.340	0.366
大颗粒金刚砂	80	0.855	0.84
粘土(烘干)	70	0.91	0.86
散热器漆	100	0.925	
红 丹 漆	100	0.93	
瓷 漆	20	0.85~0.95	
黑色无光漆	80	0.970	
电 木 漆	80	0.935	
砖、灰泥、涂墙泥	20	0.93	
玻璃	90	0.940	0.876
冰片、水	0	0.966	0.918
冰(粗糙的)	0	0.985	
水玻璃、炭黑漆	20	0.96	
纸	95	0.92	0.89
山毛榉木	70	0.935	0.91
屋顶油毡	20	0.93	

附加说明:

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提出并归口。

本标准由广州电器科学研究所负责起草。

本标准主要起草人徐国葆、李志清、祝耀昌、马秀翠、袁顺才。