



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 2424.1—2005/IEC 60068-3-1:1974  
代替 GB/T 2424.1—1989

---

## 电工电子产品环境试验 高温低温试验导则

**Environmental testing for electric and electronic products—  
Guidance for high temperature and low temperature tests**

(IEC 60068-3-1:1974, Basic environmental testing procedures—  
Part 3: Background information—Section 1: Cold and dry heat tests and  
IEC 60068-3-1A:1978, First supplement to publication 60068-3-1, IDT)

2005-03-03 发布

2005-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 引言 .....	1
2 不同试验规程的依据 .....	2
3 试验箱 .....	4
4 测量 .....	5
对 IEC 60068-3-1:1974《基本环境试验规程 第3部分:背景材料 第1节:寒冷和干热试验》 的第一次补充文件 .....	6
附录 A(资料性附录) 无强迫空气循环试验时试验箱大小对试验样品表面温度的影响 .....	8
附录 B(资料性附录) 气流对试验箱条件和试验样品表面温度的影响 .....	10
附录 C(资料性附录) 样品辐射系数对温度升高的影响 .....	14
附录 D(资料性附录) 组件线端尺寸和材料对其表面温度的影响 .....	15
附录 E(资料性附录) 热传输计算及列线图 .....	16
附录 F(资料性附录) 普通材料的热导率 .....	22
附录 G(资料性附录) 温度的测量 .....	23
附录 H(资料性附录) 风速的测量 .....	25
附录 I(资料性附录) 辐射系数的测量 .....	26
附录 J(资料性附录) 低温和高温试验方法分类总方框图 .....	33

## 前 言

本部分是 GB/T 2424《电工电子产品环境试验》系列标准之一，下面列出这些国家标准的预计结构以及对应的国际标准。

GB/T 2424 由以下环境试验导则组成：

GB/T 2424.1—2005 电工电子产品基本环境试验规程 高温低温试验导则(IEC 60068-3-1:1974,IDT)

GB/T 2424.2—1993 电工电子产品基本环境试验规程 湿热试验导则(eqv IEC 60068-2-28:1990)

GB/T 2424.10—1993 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(eqv IEC 60355:1971)

GB/T 2424.11—1982 电工电子产品基本环境试验规程 接触点和连接件的二氧化硫试验导则

GB/T 2424.12—1982 电工电子产品基本环境试验规程 接触点和连接件的硫化氢试验导则

GB/T 2424.13—2002 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 温度变化试验导则(IEC 60068-2-33:1971,IDT)

GB/T 2424.14—1995 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 太阳辐射试验导则(idt IEC 60068-2-9:1975)

GB/T 2424.15—1992 电工电子产品基本环境试验规程 温度/低气压综合试验导则(eqv IEC 60068-3-2:1976)

GB/T 2424.17—1995 电工电子产品环境试验 锡焊试验导则

GB/T 2424.19—2005 电工电子产品基本环境试验规程 模拟贮存影响的环境试验导则(IEC 60068-2-48:1982,IDT)

GB/T 2424.20—1985 电工电子产品基本环境试验规程 倾斜和摇摆试验导则

GB/T 2424.21—1985 电工电子产品基本环境试验规程 润湿称量法可焊性试验导则

GB/T 2424.22—1986 电工电子产品基本环境试验规程 温度(低温、高温)和振动(正弦)综合试验导则(eqv IEC 60068-2-53:1984)

GB/T 2424.23—1990 电工电子产品基本环境试验规程 水试验导则

GB/T 2424.24—1995 电工电子产品环境试验 温度(低温、高温)/低气压/振动(正弦)综合试验导则

GB/T 2424.25—2000 电工电子产品环境试验 第 3 部分：试验导则 地震试验方法(idt IEC 60068-3-3:1991)

本部分为 GB/T 2424 的第 1 部分，本部分等同采用 IEC 60068-3-1:1974《基本环境试验规程 第 3 部分：背景材料 第 1 节：寒冷和干热试验》(英文版)及其第一次补充文件 IEC 60068-3-1A:1978(英文版)。

本部分代替 GB/T 2424.1—1989《电工电子产品基本环境试验规程 高温低温试验导则》。自本部分实施之日起，GB/T 2424.1—1989 废止。

本部分与 GB/T 2424.1—1989 相比，主要有以下差异：

——一致性程度不同(1989 年版本为等效采用，本版为等同采用)；

——“本标准”改为本部分；

——1984 年版的 1.1 不再单独列出，其内容改为本部分的附录 J；

- 删去 1989 年版 1.7~1.9 内容；
- 第二章中条款编号均下调一级，如 2.1 改为 2.1.1，2.4 改为 2.1.4 等；
- 3.1 内容不变，但取消 1989 年版中 3.1.1 和 3.1.2 的条款编号；
- 1989 年版的 3.3 和 3.4 在本部分中为 3.2.3 和 3.2.4；
- 增加了相应 IEC 标准第一次补充文件的内容；
- 附录 B 较 1989 年版中增加图 B.3；
- 附录 C 较 1989 年版中内容减少，只保留原图 C.1，所减少的“传热计算及列线图”等内容改为本部分的附录 E；
- 附录 D 较 1989 年版中内容减少，只保留原图 D.1，所减少的“普通材料的热导率及元件线端”内容改为本部分的附录 F；
- 附录 E 改为“传热计算及列线图”；
- 附录 F 改为“普通材料的热导率及元件线端”；
- 附录 G 代替 1989 年版中附录 E；
- 附录 H 代替 1989 年版中附录 F；
- 附录 I 代替 1989 年版中附录 G，并将名称改为“辐射系数的测量”。
- 增加附录 J。

本部分的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I、附件 J 均为资料性附录。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电工电子产品环境技术标准化委员会归口。

本部分由广州电器科学研究院负责起草。

本部分主要起草人：祁黎、谢建华。

本部分于 1989 年首次发布，本次修订为第 1 次修订。

# 电工电子产品环境试验

## 高温低温试验导则

### 1 引言

产品及部件的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的环境条件。

不论何时,当产品及其周围环境形成的系统中存在温度梯度时,则其间就存在热传输过程。

本部分包括低温和高温试验,带温度突变试验和温度渐变试验,散热试验样品和非散热试验样品(后者有无人工冷却均可适用)。

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。总规程图见附录J。

#### 1.1 基准环境条件

产品将来工作的实际环境条件往往是不能准确地预知,也不能准确地规定的。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,有必要考虑下列诸因素并规定一些常用的基准环境条件。

#### 1.2 非散热的产品

若环境温度均匀不变、产品内又不产生热时,则热流方向是:环境温度较高时,热由周围空气传入该产品;反之,若产品温度较高,则热由产品传入周围空气。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空气温度时止。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。但当产品达不到周围空气温度时,基准环境温度的确定就较为复杂,这时应考虑采用1.3的结论。

#### 1.3 散热的产品

如产品内有热产生,但没有热传输到周围空气中,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空气发散的,最后,产品所产生的热与耗散在周围冷却空气中的热相平衡,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。

若是多个试验样品在同一试验箱进行高温试验时,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。但在进行低温试验时,则没有必要区分单个试验样品和多个试验样品时的情况。

#### 1.4 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。

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必然时刻在变化,这给确定“环境温度”带来一定困难。因此对“环境温度”应专门予以定义。

#### 1.5 表面温度

对产品性能起主要影响的是其本身的温度。所以参照试验样品表面上甚至其内部一些关键点的温度来进行监控和调节试验设备是适宜的。

## 2 不同试验规程的依据

### 2.1 传热原理

#### 2.1.1 热对流

2.1.1.1 在试验箱内进行试验时,对流散热在散热试验样品热交换中占有极重要的部分。

热从试验样品表面传递到周围空气中去的传热系数,受周围空气速度的影响。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,试验样品表面温度就愈低。图 B.1 和图 B.2 显示出这个结果。

气流除影响任一位置上试验样品的表面温度外,还影响试验样品表面上的温度分布。图 B.3 显示出这个结果。

2.1.1.2 附录 B 明显表明,对不同的气流速度和气流方向来说,在试验样品表面温度及温度分布之间不存在任何简单关系。同样明显的是,如果要使试验符合实际条件,试验时就要对试验箱规定某一特定的气流速度和气流方向,这将涉及到试验箱设计方面的许多问题。

为了便于把试验结果与实际的环境条件比较,有必要规定一个清晰的、能重现的试验条件,这就导致“自由空气条件”的使用。

2.1.1.3 “自由空气条件”使用无限空间内的空气条件。此时,在该空间内空气运动仅受散热试验样品本身的影响,由试验样品辐射的能量在该空间内吸收。因此,试图在试验箱中重现自由空气条件的试验是不切实际的(见第 3 章)。

附录 A 说明,采用自由空气条件,通常并不导致使用价格高昂或者不切实际的大型试验室。既然自由空气条件有某些技术上的优点,而且比规定的强迫空气条件易于做到,所以用作散热试验样品进行低温和高温试验时的优选方法。

根据本部分第 3 章给出的理由,在有些情况下,采用无强迫空气循环方法进行试验可能产生一些困难。

因而,在允许采用低速空气进行强迫空气循环的场合给出了两种供选用的方法:第一种方法,适用于试验箱的尺寸大得足以满足附录 A 的要求,但试验箱的升温或降温需要采用强迫空气循环的场合。

第二种方法,适用于试验箱太小、不能满足附录 A 的要求,或由于别的原因,不能使用第一种方法的场合。

#### 2.1.2 热辐射

2.1.2.1 附录 C 显示出当讨论试验散热试验样品用的试验箱条件时,不能忽视辐射传热,在试验样品和试验箱箱壁是热黑的情况下(辐射系数约为 1),从试验样品到试验箱壁的传热,约有一半是以热辐射方式传递的。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,有关规范宜对试验箱箱壁的辐射系数和温度应加以限定。

2.1.2.2 在试验样品和箱壁之间,若有其他试验样品、加热或冷却组件、安装架等遮挡时,则试验样品和箱壁之间的热辐射将受到影响。试验箱壁的热颜色和温度将不符合要求,试验样品上某特定点所能“看到”箱壁部分的百分数确定该点的视角因数。试验样品每一点的“视角因数”都不宜受某些不符合对箱壁热颜色和温度要求的装置所干扰。

2.1.2.3 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。

通常大多数装置(包括设备和组件)是在十分近似热黑而不是热白的环境中运行的。

将试验箱内壁做成近似于热黑的要比做成热白的容易些。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(见附录 I)。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,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,低温时的辐射传热与高温时比较不那么显著,故在低温试验时对箱壁颜色和温度的要求也就不怎么严格。

2.1.2.4 通过热辐射进行的热交换主要取决于试验箱壁的温度,这种依赖关系就是为什么当试验样品表面温度和周围空气温度之间的差值很大时,不按照附录E对试验样品温度进行修正就不能用强迫空气循环来进行试验的主要原因。

### 2.1.3 热传导

2.1.3.1 热传导的散热取决于安装连接架及其他连接件的热特性。

2.1.3.2 有许多散热设备和组件,规定安装在吸热的或其他导热良好的装置上。因而,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,而且在进行试验时最好再现安装架的这些热特性。

2.1.3.3 如果设备或组件采用不止一种具有不同导热值的方法安装,则在试验时应考虑最坏情况。应用情况不同,产生的最坏情况也不相同,如:

a) 散热试验样品的高温试验。因试验时热的传输方向是由试验样品到安装架,所以,安装架的热传输量最小时,即安装架的导热系数最小(绝热)时的传输方向是最坏情况。

b) 非散热试验样品的高温试验。只要试验样品尚未达到热稳定,热就由箱壁经安装架传到试验样品。那么,最坏情况是安装架的导热率大的场合,为了避免安装架的加热时间太长,从而延滞由箱壁到试验样品的热传输,安装架的热容量宜小。

c) 散热试验样品和非散热试验样品的低温试验。由于试验时热是由试验样品经安装架传输到箱壁的,因而最坏情况(试验样品温度最低)是在热传输效率最高时,即在安装架的导热系数高时。

### 2.1.4 强迫空气循环

2.1.4.1 试验箱的容积大得能完全满足附录A的要求,但试验箱的升温和降温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的影响。如果试验样品上任一点的表面温度,不因试验箱内有强迫空气循环降低5℃以上,像在无强迫空气循环试验箱内进行的试验一样,则强迫空气循环的冷却效应就可以认为相当小,可忽略不计。

2.1.4.2 如果试验箱太小,不能满足附录A的试验要求,或按本部分2.1.4.1测得之表面温度差超过5℃时,则宜在试验箱外进行探索性试验:

先将试验样品置于放置该试验箱的试验室内,施加有关标准为试验温度所规定的负载条件,测量试验样品表面上若干有代表性的点的温度,以给出计算规定试验条件下表面温度的基准点。

对环境温度和表面温度之间的小温差 $\Delta T_1$ 来说,只要环境温度的变化 $\Delta T_2$ 小时,就可假定温差 $\Delta T_1$ 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,试验样品表面温度之间的关系见附录E。如已知某环境温度时的表面温度,使用附录E的计算图,就可计算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E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E的计算图至少可以用到 $T_1 = 80^\circ\text{C}$ 和 $T_2 = 65^\circ\text{C}$ 时。

2.1.4.3 当采用本部分中第一种和第二种方法的任一方法时被检查的有代表性的点的选择,宜详细了解试验品的情况(如温度分布、热极限点等),由于这一点的选择主要是一项训练判断问题。所以建议优先选用无强迫空气循环的试验方法。

对探索性试验来说,可能需要检验试验箱的性能,以便能进行一系列类似试验(如类似元件的试验),而对另一些情况(如对不同的产品),在每次试验前都需要对试验箱进行评价。

### 3 试验箱

#### 3.1 一般要求

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。

在需要模拟自由空气条件效应时,试验样品大小和散热情况与试验箱大小的关系,见附录 A。

在试验箱内下部,那里的空气不大受由试验样品引起的热对流的影响,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。在现有多数试验箱中,不用强迫空气循环就不能升温或降温,特别是对大试验样品进行试验,或是在同一试验箱中同时试验许多产品时更是如此。

对散热试验样品的试验结果有重大影响的试验箱的一些参数如表 1。

表 1 对散热试验样品的试验结果有重大影响的试验箱的一些参数

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;视野因数	安装架的热特性

#### 3.2 试验箱达到要求试验条件的途径

##### 3.2.1 模拟自由空气条件效应的试验箱的设计

加热和冷却箱体的器件不应放在工作空间中,因为箱内温度的控制就是依赖这些组件的温度变化来达到的。箱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。

为得到最佳结果,试验箱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壁,是使箱壁温度避免产生大波动的一种合适方法,箱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,试验时可把试验样品置放在盒子内,然后再把这个盒子放入试验箱内来进行试验。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的设计

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。除有关试验箱尺寸以外,对自由空气试验箱的其他所有要求,有强迫空气循环试验箱的设计均适用。

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。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,采用 0.5 m/s 的风速是一种较好的折衷方案。

气流宜尽可能均匀一致,气流方向宜垂直向上,以将由上面对流所引起的气流变化缩减到最低限度。如果风扇在前箱产生正压,然后使空气从前箱经过过滤器(如玻璃纤维滤网)逸出,则可得到均匀的气流。在前箱还可装设几个控制该试验箱温度的加热器。或者,利用把加热器和过滤器的作用结合在一起的网状加热器。

##### 3.2.3 箱壁的辐射系数

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 I 的表 I.2 指出的:0.7 的辐射系数是易于得到的。对于中等温度下运行的试验箱壁的处理,大多数无光涂料完全能满足要求。



### 3.2.4 安装架的热特性

对安装架热特性的要求可参阅本部分的 2.1.3 及附录 D,附录 D 列出一些线端的热特性值。各种材料的导热系数可见附录 F。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长度应是恒定的。

## 4 测量

### 4.1 温度

对在非自由空气条件下的散热试验样品试验来说,必须对试验样品上(或试验样品内)不同点温度进行测量。

附录 G 给出了测量温度的若干建议。

### 4.2 空气速度

了解试验箱内空气的速度,对试验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同试验箱中试验多个试验样品的情况下,要保证试验箱内条件的均匀性就得要有一定的空气速度。

附录 H 给出若干有关风速的测量方法。

### 4.3 辐射系数

由于辐射传热在试验散热试验样品时很重要,所以应对该试验箱各壁的辐射系数予以测量并定期检查。

对于这类测量的建议见附录 I。

## 对 IEC 60068-3-1:1974

《基本环境试验规程 第3部分:背景材料  
第1节:寒冷和干热试验》的第一次补充文件

## 1 一般要求

某些设备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,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,则可能给试验设备带来过分的应力。

要避免这种过分应力,可按第 2 章用试验 A 和试验 B 定义的规程进行试验,但应有不同及要有预防措施。

例如某种飞行器和导弹设备。

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。但若要求准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。

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值的电源变压器和电机)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。

## 2 试验预防措施

## 2.1 一般要求

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。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,要考虑下列的预防措施。

## 2.2 试验样品周围的空气速度

试验箱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,期望能准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确定试验箱中的空气速度(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,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)试验箱中进行。当试验箱的加热(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。

## 2.3 条件

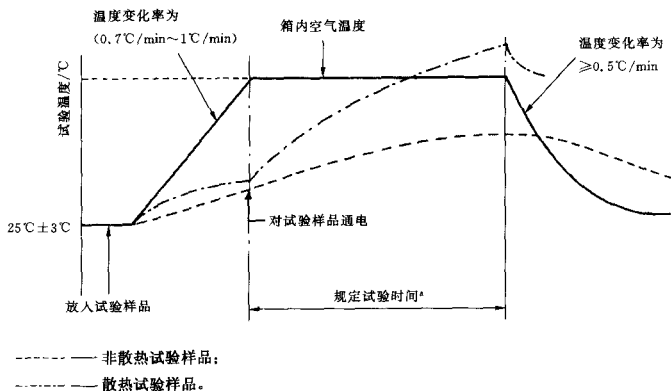
为了得到再现性,在整个条件试验期间必须很好地规定试验箱空气的温度—时间过程。在准确模拟实际环境做得到的情况下,就可为模拟这种情况来专门设计温度—时间过程。

在一般试验情况下,推荐采用下列温度—时间过程(见图 1)。

应当说明,该温度—时间过程图在下列细节方面和试验 A 与试验 B 不同:

- 开始时温度范围较窄( $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ );
- 建立试验温度期间试验箱空气温度变化的速率;

c) 试验持续时间是从小试验箱空气温度达到规定值时算起。



<sup>a</sup> 规定的试验持续时间从试验箱内空气温度开始到达与规定试验温差在 3°C 以内时算起。

图 1

附录 A  
(资料性附录)

无强迫空气循环试验时试验箱大小对试验样品表面温度的影响

图 A.1 所示是为确定合用的高温试验箱的最小容积进行了一系列试验得出的试验结果。在这样大小的试验箱中,对某试验样品来说,试验样品的表面温度与在“自由空气”条件下大约相同。

将大小不同,单位表面积散热量不同的试验样品在不同大小的高温试验箱中经受+70℃的环境温度(环境温度的定义见 GB/T 2421—1999《电工电子产品环境试验 总则》)。判断试验箱的大小是否合用的标准是:该试验样品的表面温度与在容积最大的试验箱中达到的表面温度之差应不大于5℃,这就是说,试验箱的容积与试验样品体积相比非常大。试验箱箱壁的温度与环境温度之差保持在5℃内。

为了给出最坏的情况,即所有散热均以对流方式进行,试验样品都是立方体的,而且几乎是热白的。试验箱的箱壁则近似于热黑的。

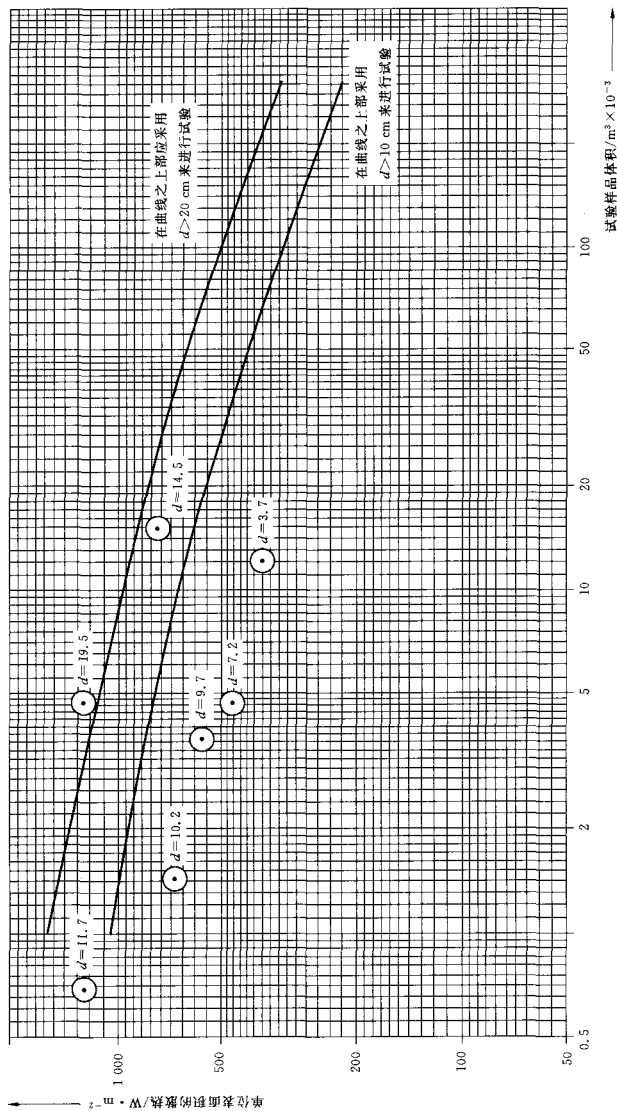


图 A.1 在大型试验箱与小型试验箱内试验, 试验样品在表面温度之间的差值达  $5^\circ C$  时单位面积的散热量

## 附录 B

(资料性附录)

## 气流对试验箱条件和试验样品表面温度的影响

## B.1 气流对试验样品温度及试验箱内温度梯度影响的计算

 $v$ ——气流速度,单位为米每秒( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ); $\lambda(v)$ ——传热系数,单位为瓦每平方米每开尔文( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ); $P$ ——单位时间内的传热量,单位为瓦(W); $F$ ——散热表面有效面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ ); $t$ ——时间,单位为秒(s); $G$ ——单位时间内进入空气或逸出空气的质量,单位为千克每秒( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ); $C_p$ ——恒定压力时空气的比热( $1\,000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ); $\gamma$ ——空气密度( $1.29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ); $S$ ——试验箱的横截面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ ); $T$ ——温度,单位为开尔文(K)。

## B.1.1 样品温度

$$T = \frac{1}{\lambda(v)} \cdot \frac{P}{F} \quad \dots\dots\dots(\text{B.1})$$

式中:

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

$$a \geq 10$$

$$v < \frac{a}{b} < 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

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  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $b \approx 8$ 。

当  $v = 0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时, 温度  $T$  的误差  $\leq 10\%$ 。

不同方向的气流和气流速度对样品的温度及样品周围温度的影响见图 B.1、图 B.2 和图 B.3。

## B.1.2 进气和出气之间的温度差

$$\Delta T_{\text{进/出}} = \frac{P}{C_p G} = \frac{P}{C_p S v \gamma} \quad \dots\dots\dots(\text{B.2})$$

对于气流速度为  $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、箱内散热功率为  $100 \text{ W}$ 、内边长为  $0.5 \text{ m}$  的立方型试验箱, 代入上式:

$$S = 0.25 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{\text{进/出}} = \frac{100}{1.29 \times 1\,000 \times 0.25 \times 0.3} \approx 1^\circ\text{C} \quad \dots\dots\dots(\text{B.3})$$

对于不超过  $100 \text{ W}$  的散热量, 基本无问题。等于  $1 \text{ kW}$  时, 要用较大的试验箱(例如每边长约  $1.5$  的立方箱)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。

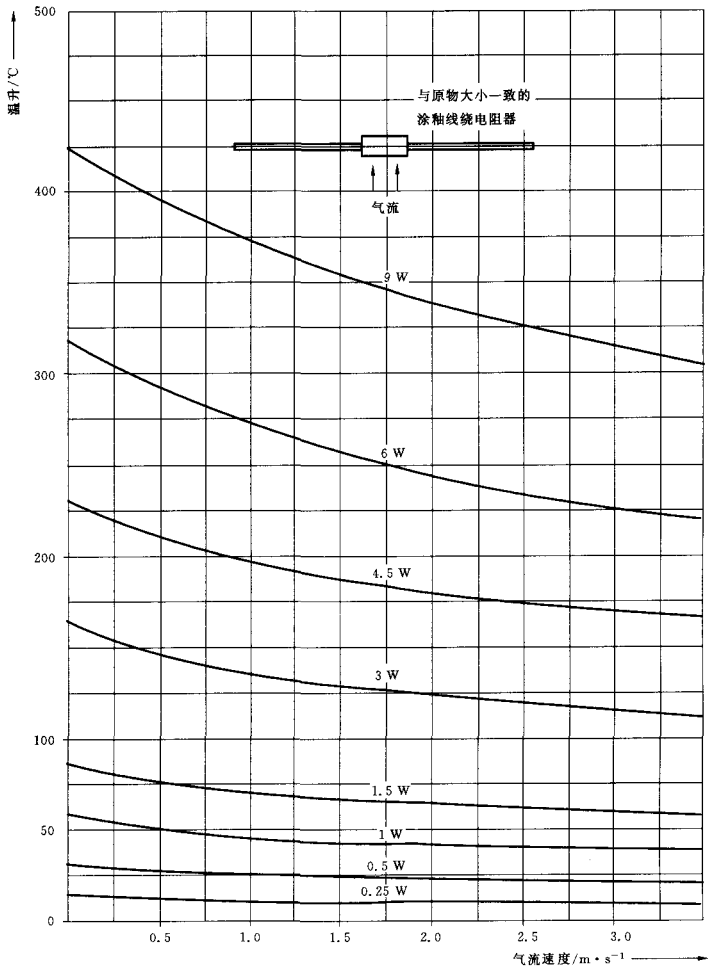


图 B.1 气流速度对线绕电阻器表面温度影响的实测数据——径向气流

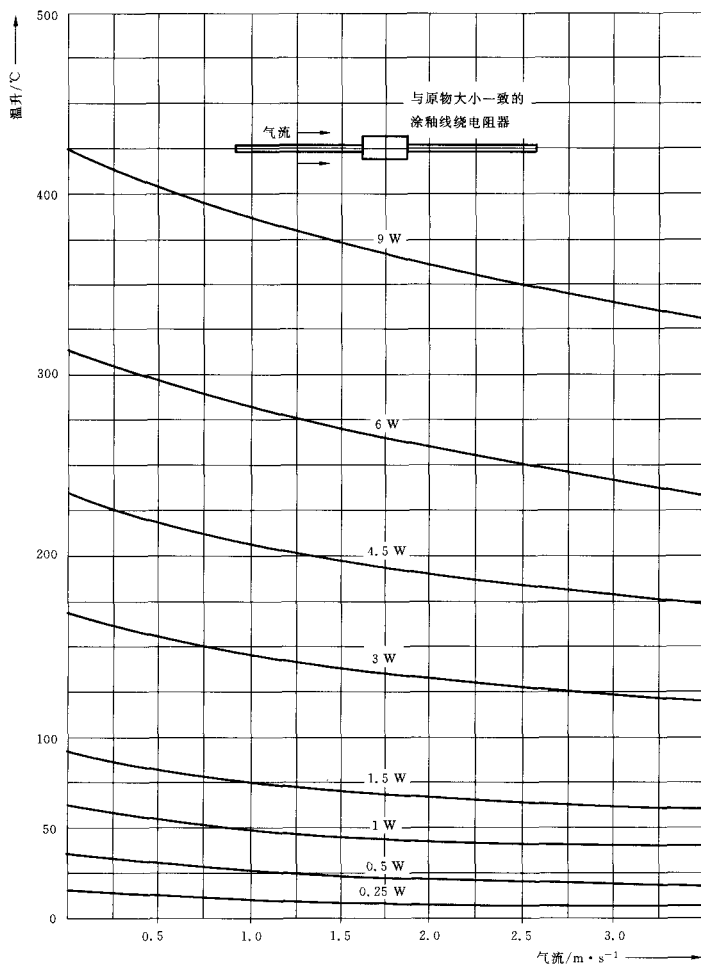
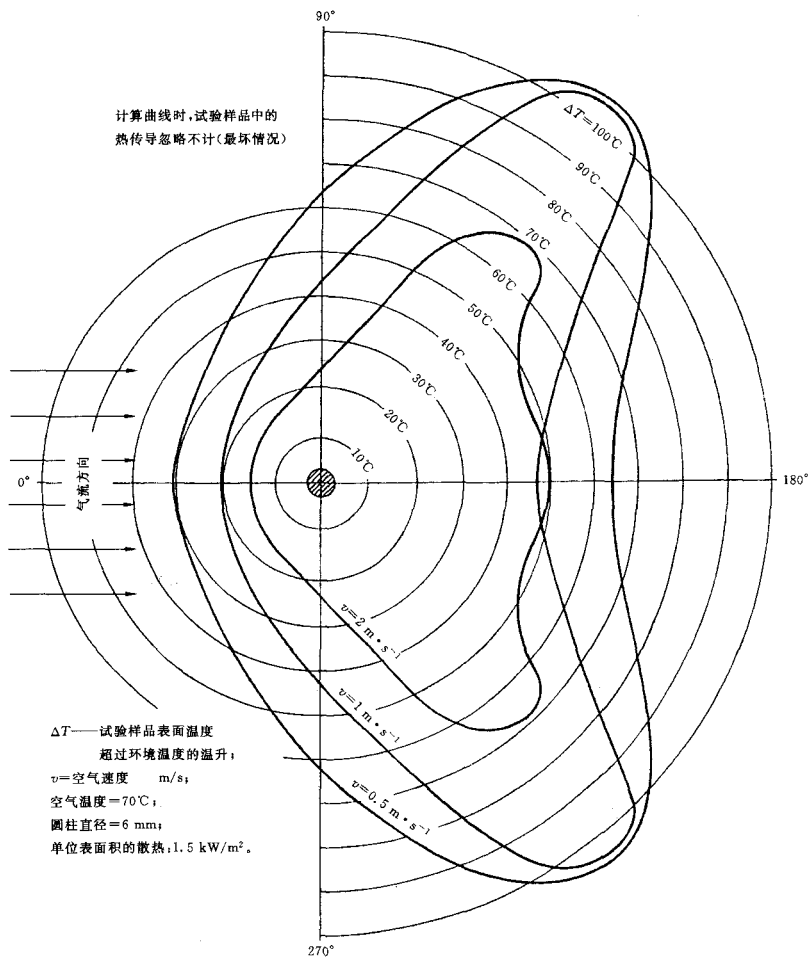


图 B.2 气流速度对线绕电阻器表面温度影响的实测数据——轴向气流



图 B.3 在速度为  $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的气流中稳定发热圆柱体周围的温度分布

附录 C  
(资料性附录)  
样品辐射系数对温度升高的影响

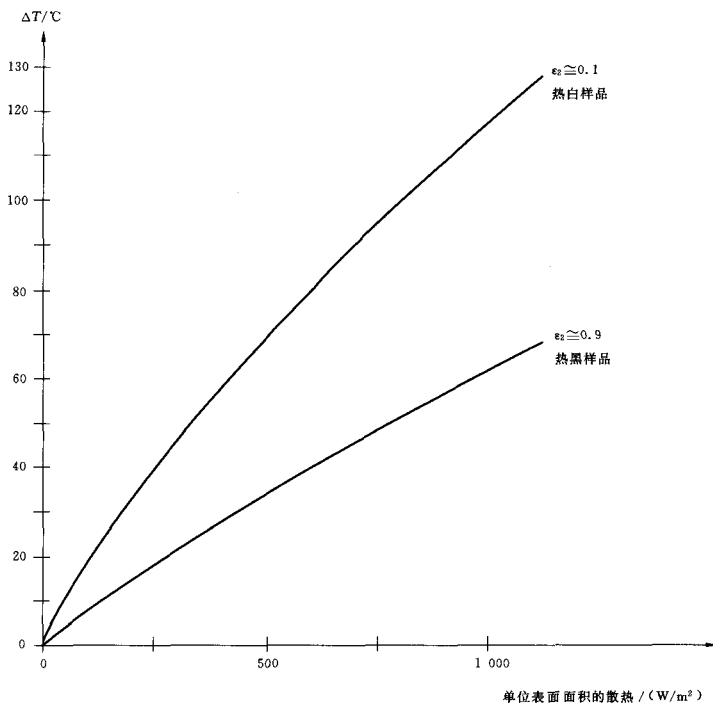
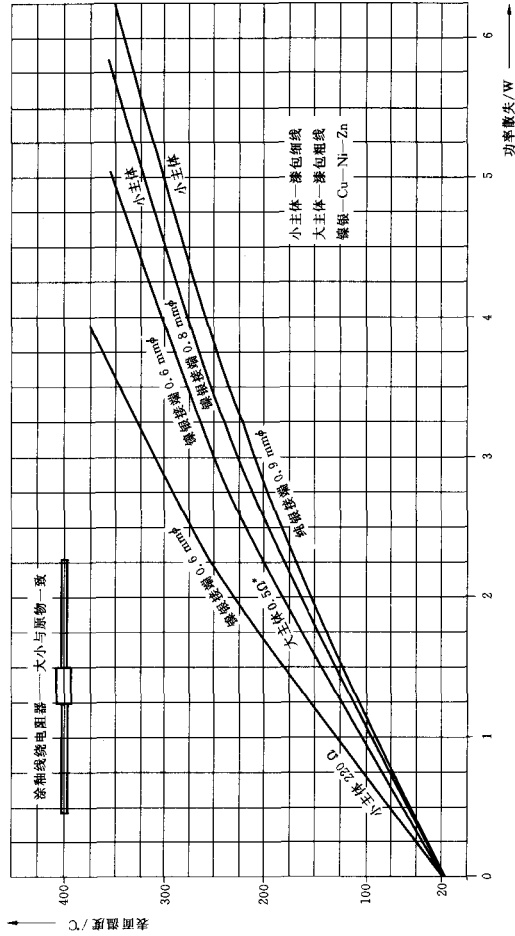


图 C.1 在箱壁为热黑的试验箱中试验样品辐射系数对温升的影响  
热白和热黑试样经受  $70^\circ\text{C}$  环境温度时,其温升跟散热关系的比较(实验值)见附录 E。

附录 D  
(资料性附录)  
组件线端尺寸和材料对其表面温度的影响



• 电阻圈使用粗导线有助于使热从“热点”快速传走。  
图 D.1 组件线端尺寸和材料对其表面温度的影响

附 录 E  
(资料性附录)  
热传输计算及列线图

## E.1 符号说明

- $P$ ——单位时间内传输的热量,单位为瓦(W);  
 $A_2$ ——试验样品表面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);  
 $A_1$ ——箱壁的表面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);  
 $T_a$ ——箱壁温度,单位为开尔文(K);  
 $T_s$ ——试验样品表面温度,单位为开尔文(K);  
 $\epsilon_1$ ——箱壁的辐射系数;  
 $\epsilon_2$ ——试验样品的辐射系数;  
 $\sigma$ ——斯蒂芬-波尔兹曼(Stefan-Boltzmann)常数; $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ;  
 $a$ ——试验样品平均尺寸,单位为米(m);  
 $\alpha$ ——对流散热系数  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ 。其值取决于  $(T_s - T_a)$  和  $a$ 。

## E.2 辐射的热传输

箱内试验样品只经辐射向周围箱壁传输的热量可用下列公式描述:

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

对空间无限大的试验箱,即满足自由空气条件时,  $A_1 \gg A_2$ , 则得到:

$$P = \epsilon_2 \sigma \cdot A_2 (T_s^4 - T_a^4) \quad \dots\dots\dots (\text{E.2})$$

对热辐射为黑色的箱壁 ( $\epsilon_1 = 1$ ), 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。

化简得到:

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{A_2}{A_1} \left( \frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right)} \quad \dots\dots\dots (\text{E.3})$$

则通式改写为:

$$P = \sigma F A_2 (T_s - T_a) (T_s + T_a) (T_s^2 + T_a^2) = \sigma F A_2 (T_s - T_a) \cdot f(T_s, T_a) \quad \dots\dots (\text{E.4})$$

或者:

$$\frac{P}{F A_2 (T_s - T_a)} = \sigma f(T_s, T_a) \quad \dots\dots\dots (\text{E.5})$$

这个关系式在附录 C 图 C.1 中表示出来。

在周围温度  $T_a$  下, 试验样品的表面温度  $T_s$  与单位时间散热量的关系见图 E.1。

## E.3 辐射和对流的热传输

## E.3.1 热传输

假定箱壁与环境空气有同样的温度, 那么:

$$\frac{P}{A_2} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{A_2}{A_1} \left( \frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right)} (T_s^4 - T_a^4) + \alpha (T_s - T_a) \quad \dots\dots\dots (\text{E.6})$$

在自由空气条件下或热黑箱壁的情况下,上式化简为:

$$\frac{P}{A_2} = \epsilon_2 \sigma (T_s^4 - T_a^4) + \alpha (T_s - T_a) \quad \dots\dots\dots (E.7)$$

可进一步改写成:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{P}{A_2} = \left( T_s + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} T_s^4 \right) - \left( T_a + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} T_a^4 \right) \quad \dots\dots\dots (E.8)$$

引入新变量:

$$x_s = T_s + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} \cdot T_s^4; \quad x_a = T_a + \frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} \cdot T_a^4$$

得到:

$$\frac{P}{A_2} = \alpha (x_s - x_a) \quad \dots\dots\dots (E.9)$$

这种关系可以用列线图来表示,该图举出两例以示说明(为了使用方便,列线图中温度单位为 $^{\circ}\text{C}$ )。

### E.3.2 列线图

前述 $\alpha$ 取决于 $(T_s - T_a)$ 及平均试验样品尺寸 $a$ 。根据 $\alpha$ 的两个不同值,对 $\epsilon_2 = 0.7$ 的列线图列出图E.2、图E.3两个示例。

制图所用的几个特征值是:

表 E.1 绘制列线图所用的特征值

项 目	图 E.2	图 E.3
平均试验样品尺寸	$a = 0.2 \text{ m}$	$a = 0.05 \text{ m}$
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	$\alpha = 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ $\frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} = 0.8 \times 10^{-8} \text{ K}^{-3}$	$\alpha = 8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ $\frac{\epsilon_2 \sigma}{\alpha} = 0.5 \times 10^{-8} \text{ K}^{-3}$

使用该图的示例如下:

问:在 $20^{\circ}\text{C}$ 自由空气中散热试验样品表面温度达到 $70^{\circ}\text{C}$ ,在 $55^{\circ}\text{C}$ 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E.2列线图中所用 $\alpha$ 值最接近于实际值。

求法:在图E.2中,从标尺 $T_s$ 上的 $+20^{\circ}\text{C}$ 点画一直线到标尺 $T_a$ 上的 $70^{\circ}\text{C}$ 点;记下与枢轴线的交点。再从标尺 $T_a$ 上的 $55^{\circ}\text{C}$ 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 $\epsilon_2$ 的依赖关系如图E.4所示。其中 $a = 0.1 \text{ m}$ , $\epsilon_1 = 1.0$ 时,周围试验室温度 $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ 。

### E.4 试验A和试验B用的相互关系列线图

比较图E.2和图E.3可看到,所得的温升随 $\alpha$ 值只略有变化,因此在试验A和试验B中仅给出一个以 $\alpha = 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ 为依据的列线图。

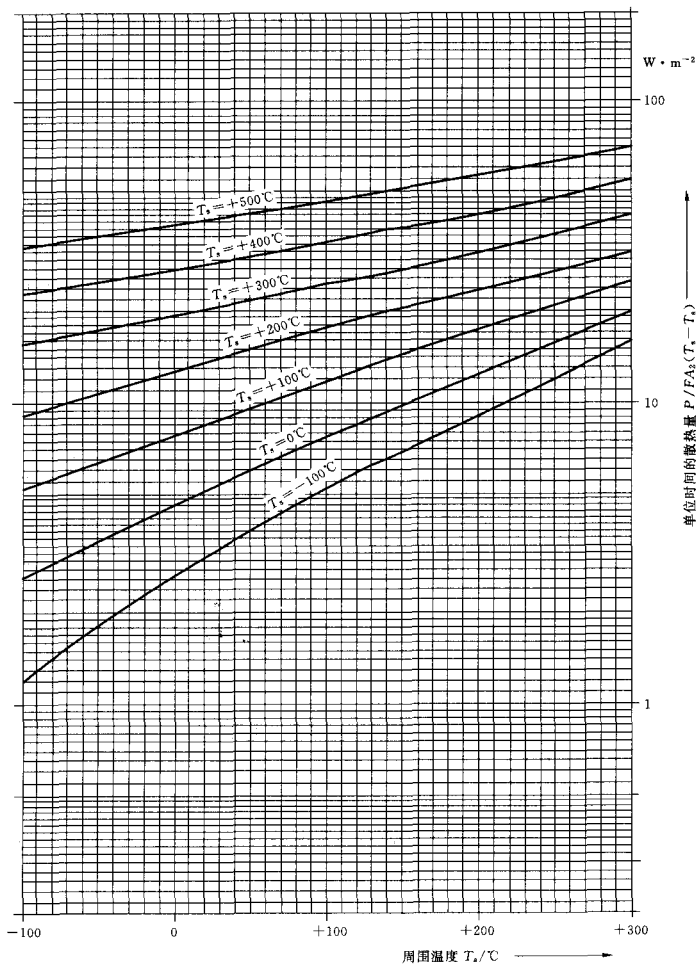
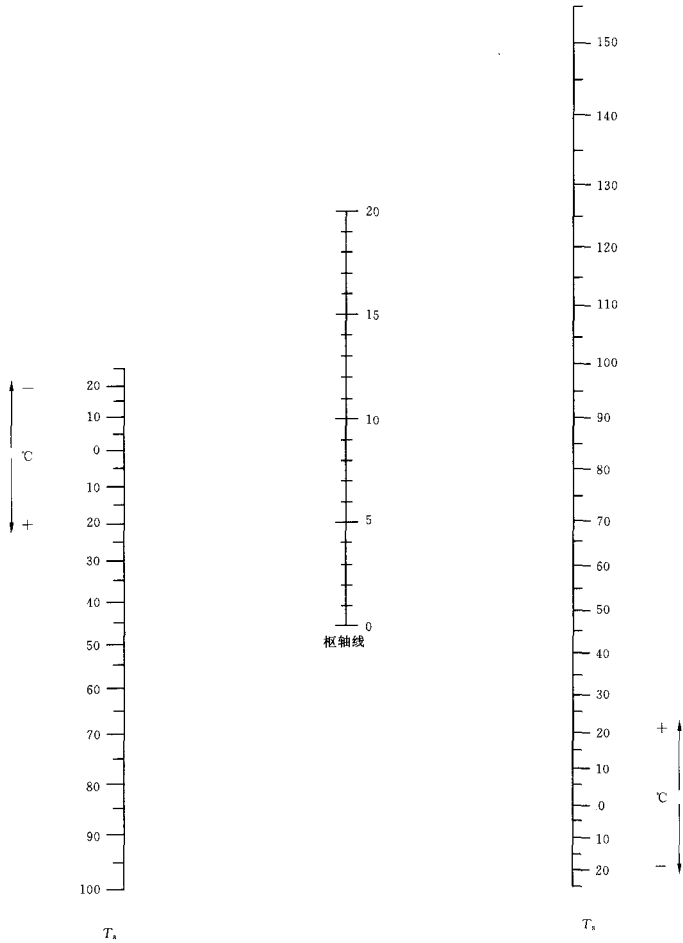
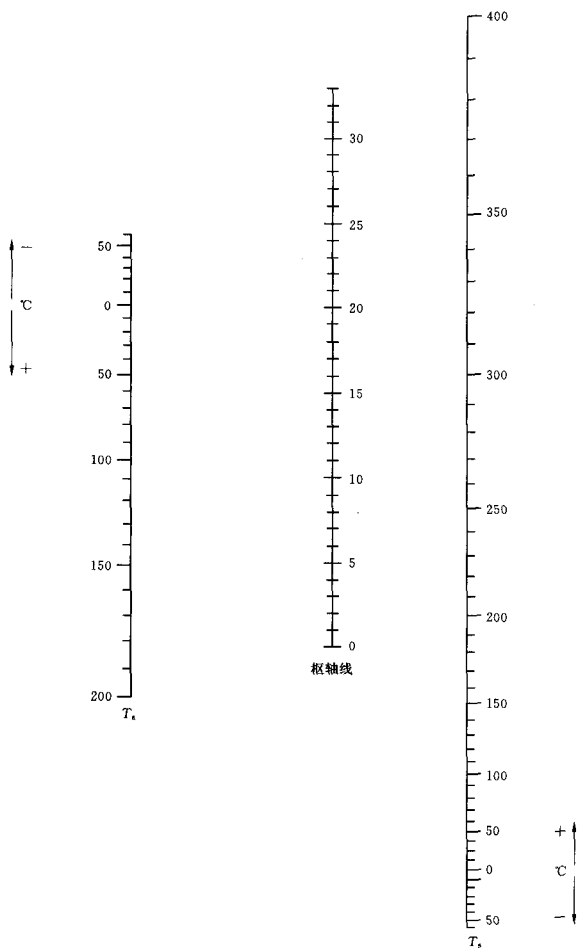


图 E.1 在周围温度  $T_a$  下, 试验样品的表面温度  $T_s$  与单位时间散热量的关系



试验样品平均尺寸  $a=0.2\text{ m}$ , 试验样品辐射系数  $\epsilon_s=0.7$ 。

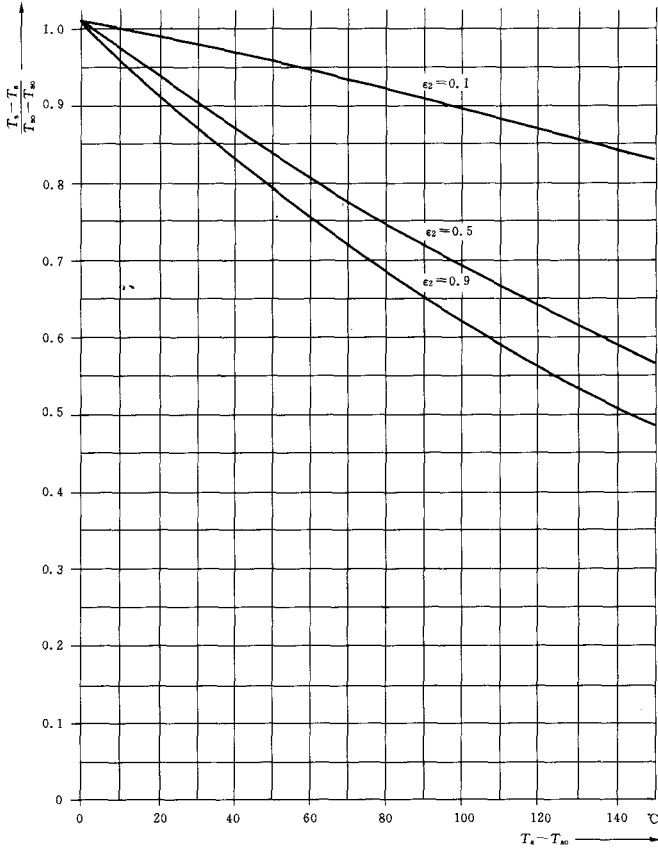
图 E.2 估计在不同环境温度  $T_s$  时试验样品表面温度  $T_s$  值的列线图



试验样品平均尺寸  $a=0.05$  m, 试验样品辐射系数  $\epsilon_s=0.7$ 。

图 E.3 估计在不同环境温度  $T_a$  时试验样品表面温度  $T_s$  的列线图





$T_{a0}$ ——试验室环境温度(+20℃)；

$T_{s0}$ ——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  $a=0.1$  m。

图 E.4 试验样品的过热温度与辐射系数  $\epsilon$  之间的关系

附 录 F  
(资料性附录)  
普通材料的热导率

下列数据源于 V. D. I. Wärmeatlas 1965、Ea4 和其他资料,把这些数据乘以 1.163 后转为国际单位。V. D. I. Wärmeatlas 1965 的 Ea3 页列出热传导性随温度而变化的值。

表 F.1

材 料	温度 $t/^\circ\text{C}$	热导率/[W/(m·K)]
银	20	411
纯 铜	20	395
商品铜	20	372
纯 金	20	311
铝	20	229
杜拉铝(Al-Cu)	20	165
纯 镁	20	143
Elektron(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 铝	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

## 附录 G

### (资料性附录)

### 温度的测量

#### G.1 一般说明

描述常用于测量空气和液体温度的仪器(例如汞温度计或酒精温度计)不是本附录的目的。这些温度测量仪器的描述及使用时的注意事项已经众所周知,并在有关的技术文献中有所描述。

对固体材料温度的测量,常应用电阻方法(特别是铂电阻温度计)、热敏电阻和热电偶,也要考虑这些仪器的使用方法及注意事项。测量仪器的热容量要小于试验样品的热容量,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。

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。

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。

#### G.2 使用变色或熔融效应法

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,例如液态晶体,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来估计试样所达到的温度。

一般说来,应用上述各种温度指示器所能达到的准确度决定于下述诸因素:

G.2.1 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。

G.2.2 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,就有在比指示温度为低的温度下发生颜色变化的危险。

G.2.3 温度敏感材料也可能由于存在液体、蒸汽或气体而受影响。

G.2.4 如果试样表面受到热辐射,则应采取某些预防措施。

G.2.4.1 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。

G.2.4.2 当指示器覆盖着受辐射表面相当大的一小部分时,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。

G.2.5 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度为慢,这将导致低估温度变化期间的实际温度。

### G.3 红外线传感器法

红外线辐射的要点说明参见附录 I。

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像,事实上是辐射分布的图像,而不是温度分布的图像,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。

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准确度,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。

注意使所选区域是十分平滑的,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 H**  
**(资料性附录)**  
**风速的测量**

风速的测量有几种方法,其中包括:

- 1) 最古老的仪器是用风杯风速计,大都用在气象领域里。风杯的交叉臂,在不同风速的吹动下快慢不同地转动,从而确定风速大小。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。
- 2) 卡他(Cata)温度计是一种特殊类型的玻璃温度计,是根据对流冷却效应设计的。测量原理是根据把先加热的卡他(Cata)温度计冷却到一定温度时(例如从 38℃ 冷却到 35℃)所需的时间来确定该点风速的大小。但由于温度计在每次测量后再进行测量时必须重新加热,因此这种方法比较麻烦。

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设计的。这两种风速计在测量时给测量组件定量的电功率,使测量组件达到预定的标准温度,当空气流过组件时,组件的温度下降,根据组件下降的幅度可以确定空气的速度。热线测量组件是由铂丝绕制成的,而热球风速计的测量组件在许多情况下是负温度系数的电阻。由于目前已有小尺寸和小热容量的组件,故测量组件的热时间常数可以取得很小;同时,可以测量很小截面积上的气流速度。这对低风速的情况特别有用,目前已应用的温度测量范围在-30℃到 100℃之间。在热线风速计中,热线组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组件,可以准确地确定气流流向。

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 I**  
(资料性附录)  
**辐射系数的测量**

**I.1 引言**

如附录 G 所述,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,必须知道进行热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。

本附录主要论述辐射系数的测量方法应具有足够的准确度和适合于实际环境试验,且只需较少的仪器和时间。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人射辐射和反射辐射,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。

**I.2 辐射理论**

下述的辐射理论与本附录第 4 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  $M_s$  的关系如下式:

$$M = \epsilon \cdot M_s$$

式中:

$M_s$ ——由斯蒂芬-波尔兹曼(Stefan-Boltzmann)定律给出:

$$M_s = \sigma \cdot T^4 \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

式中:

$T$  用 K 氏温标表示温度,  $\sigma$  是斯蒂芬-波尔兹曼常数。

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

而  $\epsilon$  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(Plank)辐射定律给出,而辐射强度最大值的波长  $\lambda_{\max}$  由维恩(Wien)定律给出:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2.89 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad \dots\dots\dots (I.2)$$

实践中,式(I.1)通常用下列形式:

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

式中:

$$C_s = 5.67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} = 20.4 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{K}^{-4}$$

因此,对实体有下列关系式:

$$M = C \left(\frac{T}{100}\right)^4 = \epsilon \cdot C_s \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad \dots\dots\dots (I.3)$$

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:

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

辐射换热系数值  $\epsilon_{12}$  取决于有关参与辐射表面的几何形状和辐射系数  $\epsilon_2$  (试验样品的)及  $\epsilon_1$  (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(一个包围着另一个)的辐射换热公式,假定为温反射,根据朗伯(Lambert)定律,我们可得出:

$$\epsilon_{12} = \frac{\epsilon_2}{1 + \frac{A_2}{A_1} \left( \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \epsilon_2 \right)} \quad \dots\dots\dots (I.5)$$

式中:

$A_1$  和  $A_2$ ——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  $\epsilon_1$  对辐射换热系数  $\epsilon_{12}$  值的影响也就愈小。

### I.3 辐射理论的实际应用

#### I.3.1 误差大小

对式(I.3)进行对数微分得:

$$\frac{dM}{M} = \frac{de}{\epsilon} + 4 \frac{dT}{T} \quad \dots\dots\dots (I.6)$$

如果确定  $\epsilon$  值,其可达到的准确度则取决于  $T$  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  $T_2$  的准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/m<sup>2</sup> 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。

#### I.3.2 温度辐射的波长范围和能量分布

图 I.1 示出了不同温度(开尔文温度)的波长  $\lambda_{\max}$ 。这里,按维恩代换定律(式 I.2)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  $\lambda$  积分,并把量  $M_{0-\lambda}$  跟相同温度  $T$  时的总辐射  $M$  相联系,分别按  $\lambda T$  和  $\lambda/\lambda_{\max}$  的关系导出图 I.2 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约为 45  $\mu\text{m}$  左右的材料,例如牌号 KRS 5 [44% TlBr(溴化铊)和 56% TlI(碘化铊)]的材料。

#### I.3.3 总辐射

用斯蒂芬-波尔兹曼(Stefan-Boltzmann)定律(式 I.1)对若干温度  $T$  计算出来的总辐射强度列在表 I.1 中。用目前的检测器能测量到的最小辐射功率是  $(10^{-10} \sim 10^{-8})$  W 范围。对所检测的辐射功率应用表 I.1 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  $\epsilon_n$ 。

表 I.1 各种不同温度的半球总辐射

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

## 1.4 辐射系数的测量方法

### 1.4.1 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 和试验 B。

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。

### 1.4.2 辐射系数值的测量

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。

1.4.2.1 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窄(即高温试验规定温度范围内)时才可使用。

1.4.2.2 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  $\epsilon$  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调到已知值上,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  $\epsilon$  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  $\epsilon$  的平均值包括了两种辐射,而  $\epsilon$  的真实值只跟发射辐射有关,结果  $\epsilon$  的平均值高于真实值。但是,对多数实际应用来说,这种方法的准确度已足够。

如果需要更准确的测量,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试片相比较。这种方法需要有专门的设备并要由专业人员来进行。

### 1.4.3 为使辐射系数控制在最小值而进行的检查

试验 A 和试验 B 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。

## 1.5 辐射系数值

表 I.2 及有关文献中列出不同材料有不同的辐射系数值。

## 1.6 提高试验箱壁辐射系数的方法

### 1.6.1 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;已发现甚至用合适的无光白漆涂层也是合格的。

### 1.6.2 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。对于带潮湿空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。

#### 辐射系数值

为了选用材料,表 I.2 给出半球总辐射系数  $\epsilon$  和垂直表面的(法向)辐射系数  $\epsilon_n$ 。

一般来说,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 I.2 温度  $t/^{\circ}\text{C}$  时的辐射系数

表 面	$t/^{\circ}\text{C}$	$\epsilon_0$	$\epsilon$
抛光金	130	0.018	
	400	0.022	
银	20	0.020	
抛光银	20	0.030	
抛光、微暗的铜	20	0.037	
杂铜	20	0.070	
黑色氧化铜	20	0.78	
氧化铜	130	0.76	0.725
轧制的光亮铝	170	0.039	0.049
	500	0.050	
涂青铜色涂料的铝	100	0.20~0.40	
抛光含硅铸铝	150	0.186	
清洁无光泽的镍	100	0.041	0.046
抛光镍	100	0.045	0.053
轧制的光亮锰	118	0.048	0.057
抛光铬	150	0.058	0.071
清洁的酸洗过的铁	150	0.128	0.158
清洁的金刚砂打光铁	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(X5CrNi 189)			
——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(算术平均偏差)	+40	0.46	0.45
$R_a = 2.1 \mu\text{m}$ (ISO R 468)	+150	0.48	0.47
灰色氧化锌	20	0.23~0.28	
灰色氧化铅	20	0.28	
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

表 I.2(续)

表面	$t/^\circ\text{C}$	$\epsilon_n$	$\epsilon$
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、砂浆、灰浆	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
屋顶毛毡	20	0.93	

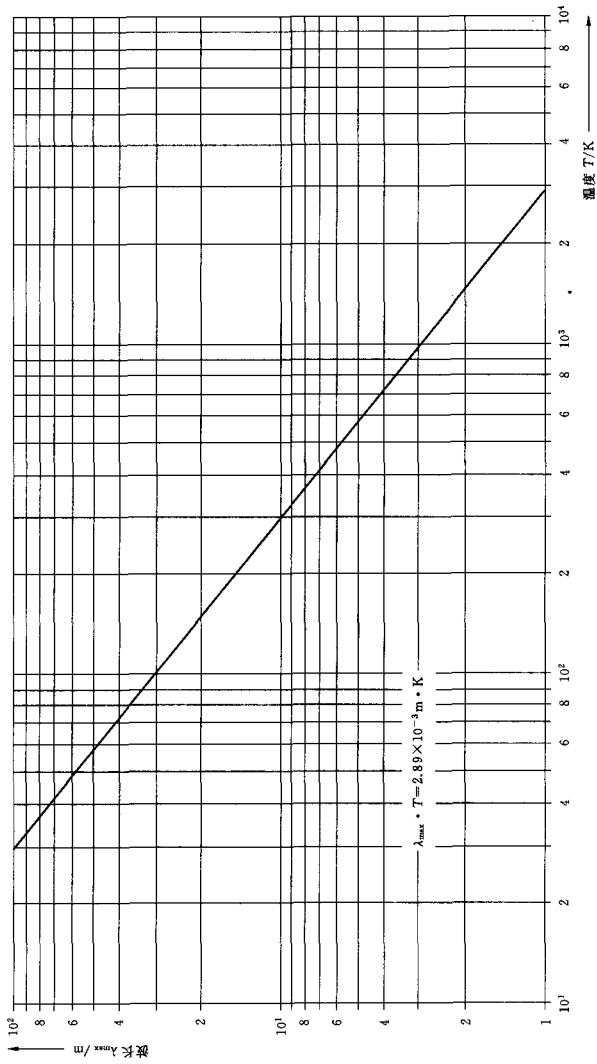


图 I.1 Wien 代换定律

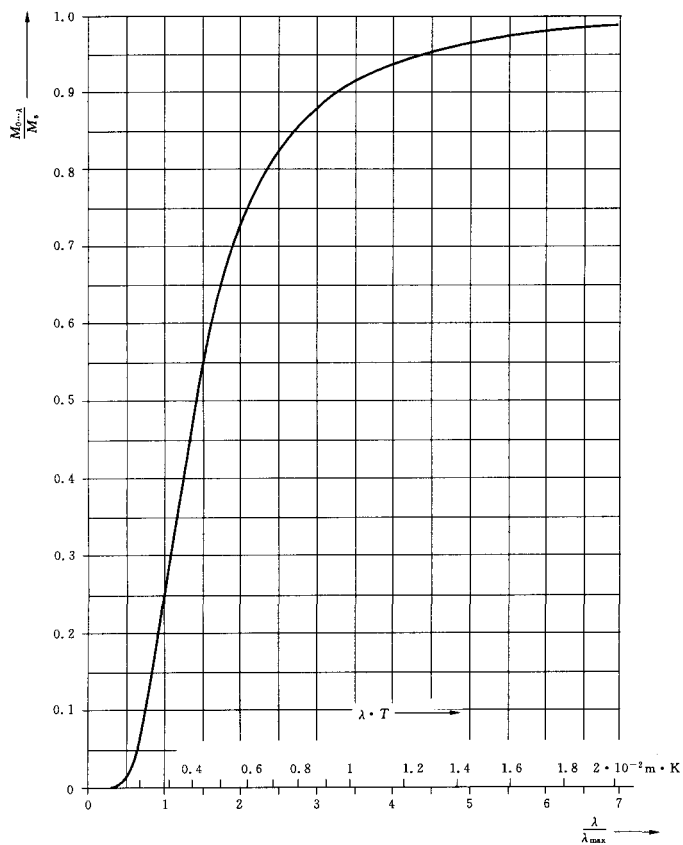


图 1.2  $\frac{M_{0-\lambda}}{M_s}$  与  $\lambda T$  之间的关系

## 附录 J

(资料性附录)

## 低温和高温试验方法分类总方框图

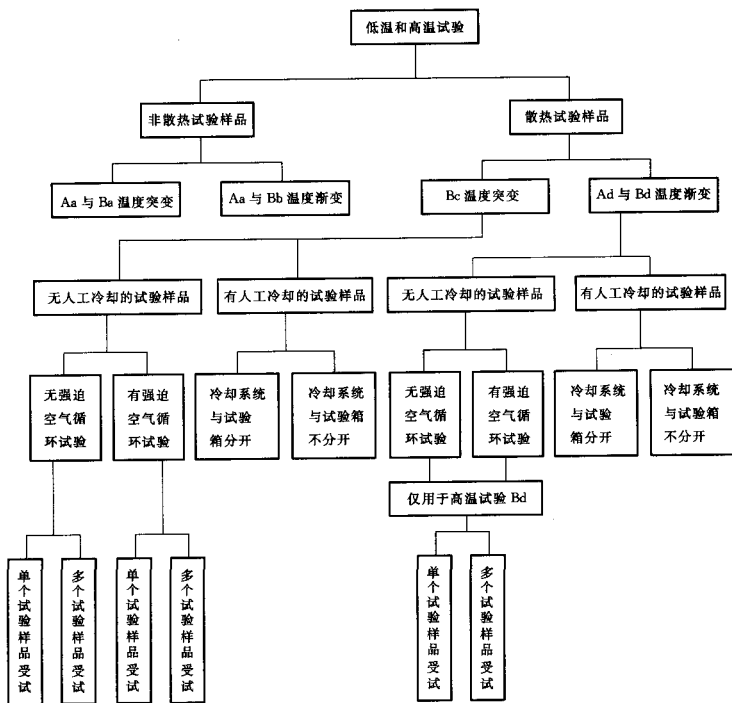


图 J.1 低温和高温试验方法分类总方框图