



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994  
代替 GB/T 10296—1988

## 绝热层稳态传热性质的测定 圆管法

Thermal insulation—Determination of steady-state thermal  
transmission properties—Pipe insulation apparatus

(ISO 8497:1994, IDT)

2008-06-30 发布

2009-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

## 前 言

本标准等同采用 ISO 8497:1994《绝热——圆管绝热层的稳态传热特性的测定》。

本标准代替 GB/T 10296—1988《绝热层稳态传热性质的测定 圆管法》。

本标准与 GB/T 10296—1988 相比较主要变化如下：

- 本标准等同采用 ISO 8497:1994,格式与 GB/T 10296—1988 存在一定区别。
- 术语定义由引用 GB 4132 改为直接引用 ISO 7345:1987《绝热——物理量和定义》。以上两个标准为类似标准,使用时为了方便可以参考 GB 4132。
- 增加了引言。
- 增加了对标定端帽与标定管的描述。
- 增加了两章内容,第 6 章“一般考虑事项”与第 10 章“端帽的修正”。
- 增加了资料性附录 NA,介绍引用的国际标准已转化为国家标准的情况。

本标准的附录 NA 为资料性附录。

请注意本标准的某些内容有可能涉及专利,本标准的发布机构不应承担识别这些专利的责任。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国绝热材料标准化技术委员会(SAC/TC 191)归口。

本标准起草单位:南京玻璃纤维研究设计院。

本标准主要起草人:崔军、成刚、曹声韶、戴锅生、王玉梅、曾乃全。

本标准委托南京玻璃纤维研究设计院负责解释。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 10296—1988。

## 引 言

如果以测试的结果来代表产品的最终使用性能,管状绝热材料的传热特性通常应由管状测试装置测定,而不是通过平板试件的装置(如防护热板或热流计装置)来测定。同一种材料预制成板状的绝热材料和预制成管状的绝热材料内部几何构造是不一致的。再者,性能很大程度上取决于热流传递方向与材料内在特征(如纤维面或伸长的气孔)的关系。因此平板试件一维热流的测量也许不能代表管状绝热材料二维径向热流的测量。

另一个应该考虑的是商品管状绝热材料的内径都稍比管子的外径大一些,否则制造时的偏差将导致管状绝热材料不能贴合于管子,因此产生了厚度变化的空气缝隙。在测试最终使用性能数据,而不是材料性质的情况下,绝热材料以同样松紧的方式安置在测试管上,因此空气缝隙的影响包含在测量之中。如果性能是在平板测试装置中测定,平板测试装置中需要很好的平面接触,情况就不是这样了。

还有一个值得注意的是围绕安置在管上的绝热材料内及表面气体的自然对流也会引起表面温度的不均匀。而这种情况在均匀平板温度的平板装置中是不能复制的。

注1:对外观相似的材料,使用圆管装置和平板装置进行的比对测试,测得的传热特性显示出不同的一致程度。显现出愈均匀、匀质以及(有时是)愈是各向同性的高密度产品,一致程度愈好。对于一些材料,在此对比测试中重复地显示出可接受的一致性,使用平板装置测得的数据来描述管状绝热材料的特性也许是可以的。一般说来,如果没有显示以上提到的一致性,应采用管状测试装置来获得管状绝热材料的传热数据。

## 绝热层稳态传热性质的测定 圆管法

### 1 范围

本标准规定了通常在高于环境温度使用的测定圆管状绝热材料稳态传热性质的一个方法。本标准规定了测试装置的要求但没有规定装置的设计。

本标准适用的试件类型、温度和测试环境规定在第5章和第6章。

### 2 规范性引用文件

下列标准包含条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修改版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

ISO 7345:1987 绝热—物理量和定义

ISO 8301:1991 绝热—稳态热阻及有关特性的测定—热流计装置

ISO 8302:1991 绝热—稳态热阻及有关特性的测定—防护热板装置

### 3 术语和定义

注2：管状绝热材料的几何形状需要不同于平板状绝热材料的特殊术语。前缀“线”用来表示特定尺寸的绝热材料的单位长度(管轴线方向上)的特性。这些线特性(用“l”来表示)用起来很方便，因为知道管长和使用温度，就可以计算出热损失。

“线”不表示热流方向是轴向的。在本标准中热流方向主要是径向。

ISO 7345:1987 确定的以及下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**线传热率 linear thermal transference**

在稳态条件下，线热流密度除以管表面和环境空气的温差。它与指定的绝热材料的尺寸相关，是热量通过绝热材料传递到环境的一个度量。

$$K_l = \frac{\Phi/L}{T_0 - T_a} \dots\dots\dots (1)$$

#### 3.2

**线热阻 linear thermal resistance**

在稳态条件下，管表面和绝热层外表面之间的温差除以线热流密度。它和指定的绝热材料尺寸有关，是管子线热导率的倒数。

$$R_l = \frac{T_0 - T_2}{\Phi/L} = \frac{1}{\Lambda_l} \dots\dots\dots (2)$$

#### 3.3

**线热导率 linear thermal conductance**

从管表面到绝热层外表面的线热阻的倒数。它和绝热材料尺寸相关。

$$\Lambda_l = \frac{1}{R_l} = \frac{\Phi/L}{T_0 - T_2} \dots\dots\dots (3)$$

GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

### 3.4

#### 表面传热系数 surface coefficient of heat transfer

稳态条件下,绝热层外表面的面热流密度除以外表面和环境空气之间的温差。

对圆管绝热材料来说:

$$h_2 = \frac{\Phi}{\pi D_2 L (T_2 - T_a)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

### 3.5

#### 导热系数 thermal conductivity

适用于管状绝热材料者可用下式定义。它适用于稳态条件下的均质材料,是热阻系数  $r$  的倒数。

$$\lambda = \frac{\Phi \ln(D_2/D_0)}{2\pi L (T_0 - T_2)} = \frac{1}{r} \quad \dots\dots\dots (5)$$

注3: 在 ISO 7345 中导热系数通常被定义为  $q = -\lambda_{\text{grad}} T$ 。

注4: 因为使用了管的表面温度  $T_0$ ,所以导热系数受测量管和绝热材料之间任何缝隙的影响(见 6.1)。

### 3.6

#### 热阻系数 thermal resistivity

稳态下对均质材料是导热系数的倒数。

$$r = \frac{2\pi L (T_0 - T_2)}{\Phi \ln(D_2/D_0)} = \frac{1}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (6)$$

计量段长度(轴线方向) $L$  (m)。

### 3.7

#### 面热阻 areal thermal resistance

稳态条件下测量管子表面温度和绝热材料外表面温度之差除以面热流密度,是面热导率  $\Lambda$  的倒数。

$$R = \frac{T_0 - T_2}{\Phi/A} = \frac{1}{\Lambda} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中面积  $A$  必须指定(通常是管子表面,有时指绝热材料的外表面,或者是其他选定面,见 3.8 的注6)。

注5: 较通用的基于单位面积的面特性,用于管道绝热常产生混淆,因为此面积必须人为选定,并且可能是从测量管的表面变化到绝热材料外表面。如果计算这些面性能,计算时选择的面积及其位置必须被记录下来。

### 3.8

#### 面热导率 areal thermal conductance

面热阻  $R$  的倒数。

$$\Lambda = \frac{1}{R} = \frac{\Phi/A}{T_0 - T_2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中面积  $A$  的位置必须指定(通常是管子表面,有时也指绝热材料的外表面,或者其他选定位置)

注6: 面热导率  $\Lambda$  是不确定的,因为它取决于所选的面积  $A$ 。对于导热系数如 3.5 定义的均质材料起面其热导率  $\Lambda$  为:

$$\Lambda = \frac{2\pi\lambda L}{A \ln(D_2/D_0)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

如果面积被指等于  $\pi L (D_2 - D_0) / \ln(D_2/D_0)$  “管子对数平均面积”,那么  $\Lambda = 2\lambda / (D_2 - D_0)$ 。因为  $(D_2 - D_0)/2$  等于从管表面测量的绝热材料的厚度,它和平板状的热导率和导热系数之间的关系类似。同样的相似还存在于按 3.7 定义的面热阻  $R$ 。因为这些面系数是不确定的,而且一般不申明所选择的面,因此可能会导致混淆,所以只有在选定面之后才推荐使用。

## 4 符号和单位

本标准中使用表 1 所列符号和单位。

表 1 本标准中使用的符号和单位

	符号	单位
热流量	$\Phi$	W
线热流密度(单位管长的热流密度)	$\Phi/L$	W/m
面热流密度(单位表面积的热流密度)	$\Phi/A$	W/m <sup>2</sup>
测试管的表面温度	$T_0$	K
绝热层外表面温度	$T_2$	K
环境空气(或气体)温度	$T_a$	K
测试管的外径	$D_0$	m
绝热层的外径	$D_2$	m
计量段长度(沿轴向)	$L$	m
规定面的面积	$A$	m <sup>2</sup>
线热导率	$\Delta_1$	W/(m · K)
线热阻	$R_1$	(m · K)/W
线传热率	$K_1$	W/(m · K)
导热系数	$\lambda$	W/(m · K)
热阻系数	$r$	(m · K)/W
绝热材料外表面传热系数	$h_2$	W/(m <sup>2</sup> · K)
面热导率	$\Lambda$	W/(m <sup>2</sup> · K)
面热阻	$R$	(m <sup>2</sup> · K)/W
测试管外端帽厚度(轴向)	$S$	m
Nukiyama 计算系数	$n$	

注 7: 下标“l”用来表示线特性(每单位轴向长度)。

注 8: 当指出这些特性是在圆管装置上测试显得重要时,上表所列符号加下标“cyl”。

注 9: 当“l”和“cyl”同时需要使用时,下标为“l, cyl”。

注 10: 在本标准中,线热流密度和面热流密度分别用  $q_1$  和  $q_2$  表示。此处较多描述用在本标准中的比值符号。

## 5 要求

### 5.1 测试试件

试件可以是硬质的、半硬的或柔软(毡状)的,或是适当密封的松散填料。试件可以是均质的或非均质的,各向同性的或各向异性的,可包括切缝、接头或其他金属元件,也可以包括外护套或其他覆盖物。除计量测试段内任何有目的性的不规则外,试件沿整个长度方向的尺寸和外形应是均匀一致的,并且试件应是设计用于与测试装置同样尺寸管子的。通常试件应该有圆的外形和居中的孔。也允许使用其他外形的试件,但仅可测定传热率。

### 5.2 运行温度

测试管可能在高达试件或构成装置材料的最高使用温度下操作。测试管的最低温度有限制,要高于试件外表面温度足够多以提供测试需要的精确度。通常,装置在静止的空气当中运行,环境温度 15 °C 到 35 °C 之间,但也可以延伸到其他温度、其他的气体与速度。试件外表面温度也可以有加热或冷却外壳或覆盖物或其他附加绝热层固定。如果使用了冷却外壳或外套,只要测试管维持在较高温度,可以在低温下运行。

## GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

### 5.3 管的尺寸和形状

测试管应有一个圆形横截面。

### 5.4 方位

测试管通常为水平放置,可以采取其他方位,但是要求特殊的考虑,因为测试管和试件内外都可能被对流影响。

### 5.5 装置类型

包括两种明显不同的装置类型:防护端头型与标定或计算端头型,它们对计量段端头轴向传热的处理不同。有高轴向导热元件如金属外护套的试件,只能用防护端头型装置测试。

### 5.6 相关特性

所有试件都可以计算线传热率(3.1中定义),它是量化管状绝热材料性能的最有用的特性。如果使用与测试条件具有可比性,知道了它的值和管子及周围环境空气的平均温度,就可以直接算出给定长度的绝热管道的热损。

导热系数(见3.5)在规范中经常用到。理论上,只有紧紧的安装在测试管上、没有空气隙的均质的同心环状试件才能计算导热系数。实际上,如果认为导入的误差可以接受,偏离理想状况是经常的。导热系数在推导与所测试件尺寸不同的绝热材料的线传热率或其他性能时是有用的(见6.2)。第3章定义的其他特性,在被指定和适用的时候可以考虑使用。

## 6 目的

### 6.1 一般考虑事项

如在6.1.1和6.1.2中所述,可能有两种明显不同的测定目的。试件的准备和安装由用户选择的决定。可以使用适合任何一种目的的程序,但应在报告中充分说明。

#### 6.1.1 最终使用性能

如果要求最终使用性能,试件应保持不变,以与正常使用相同的方式安装。在这种情况下,测得的特性包括任何接头或接缝,以及任何由于松散地安装在管上引起的空气隙的热阻的影响。

#### 6.1.2 材料特性

如果要求材料特性的值,应选择或修整试件,以使其所有部分紧紧组合在一起,没有开口的接头或接缝,并使试件紧紧安装在测试管上,没有空气隙。

### 6.2 用于其他尺寸

提供能够匹配所有制造的管状绝热材料的尺寸的测试装置是不实际的。因此,用有限尺寸的类似绝热材料的测试数据,计算其他尺寸的绝热材料的特性是必要的。根据试件材料和测试条件是否理想,可能有不同程序。

在测定最终使用性能时,包括任何空气隙与(/或)不紧密的安装的影响,不允许用来计算其他尺寸绝热材料的特性。

#### 6.2.1 理想材料与测试条件

对于导热系数是常数或是温度的线性函数的均质材料,在均匀的温度条件下测试,可以在规定的平均温度下,用3.5中给出的关系式,在单独的测试中确定导热系数。然后可用这个导热系数计算其他尺寸管子、其他绝热层厚度、其他温差的管状绝热材料,在相同平均温度下的热流与其他传热特性。

#### 6.2.2 非理想材料与测试条件

实际中,许多材料并非严格均质的,因为

- 它们的导热系数是温度的复杂函数;
- 由于对流与辐射传热,导致测试时试件外表面温度不均匀;与/或
- 在装置与试件中间可能存在空气隙。

只要数据被扩展到与测试不同的尺寸或条件,应就这些因素的实际影响进行评估。

## GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

通常对于一种特定的产品或材料,在靠近感兴趣的范围内,最少要做两种尺寸的测量。如果这些测量的导热系数值在可接受限度内一致,那么其平均值可以用来计算这种产品在相同平均温度下、该尺寸范围内,其他尺寸和其他条件的传热特性。如果测量的导热系数值不在可接受限度内,那么应该使用一个合适的趋势分析来确定适合要求尺寸的导热系数值。

如果测试的导热系数差距很大的话,应测试更多尺寸的试件。另一个方法是由已测出的不同测试管尺寸(但厚度、温度相同)的绝热材料的传热特性值(例如传热率)使用内插法。

### 6.3 需要的知识

因为在本标准中涵盖所有型号的装置和方法细节是不实际的,用户应预先拥有关于热测量的知识与经验。

### 6.4 细节说明

用户应准备详尽的设计和操作说明,帮助特定装置的制造者和操作者满足一般要求和目标。

## 7 装置

### 7.1 一般要求

装置由加热的测试管与控制 and 测量仪器组成,这些仪器控制和测量测试管和环境空气的温度以及消耗于计量段加热器的平均功率。除非只需要测定传热率,还应包含测量绝热材料外表面温度的仪器。测试管应由内部电加热器被均匀加热,例如电阻丝缠绕在一个内部单独的管上。在大型装置中,需要提供内部循环风扇或在管内填充传热液体来获得均匀的温度。可以用独立的防护加热部件(见 7.3 与图 1),使测试部件端头的轴向热流减少到最小,或用一个绝热端帽,并对所测热量加以修正(见 7.4 和图 2)。还应提供有控制周围空气温度的装置的密封箱或房间。

装置应符合本标准的原理与限制,但本方法没有包括对任何特殊装置的建造与操作的细节要求。每台装置应专门的准备细节说明。

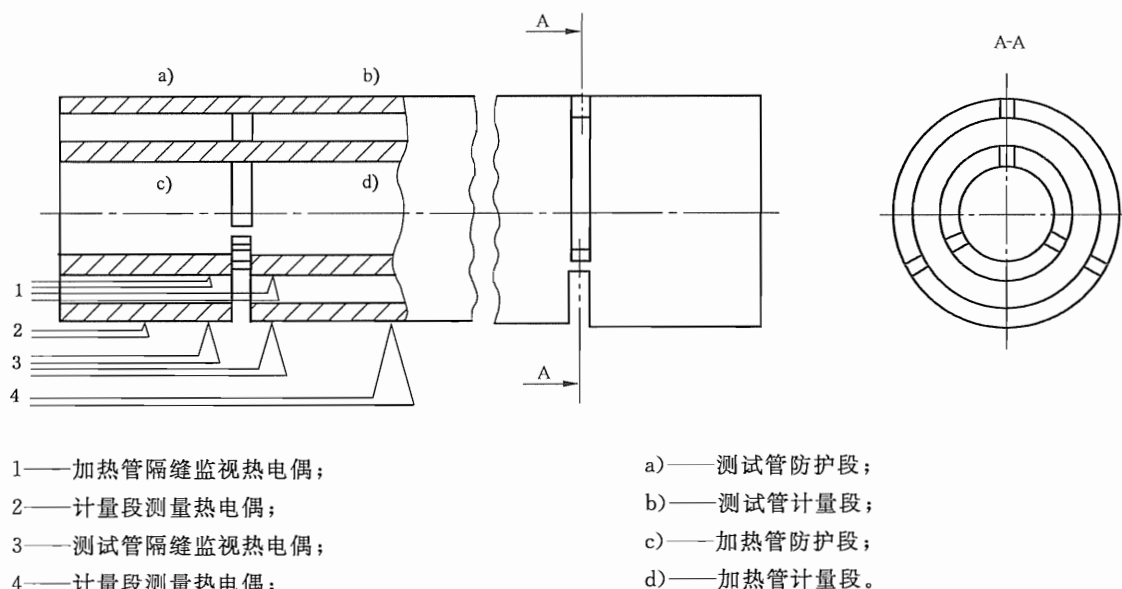


图 1 防护端头型装置

### 7.2 尺寸

装置的管径并没有限制,但是计量段的长度应足够长,以保证测试的总热流量相对于端头损失和功率测试的准确度来说足够大,以达到要求的测试准确度。

注 11: 对于外径 88.9 mm 的防护端头型装置(见 7.3),测试部件长度 0.6 m、试件总长度接近 1 m 就可满足。相同直径的标定或计算端头型装置(见 7.4),试件长度一般要 2 m 或更长。也许某些装置和某些测试条件不能满足这些长度要求,需做适当的误差分析估计要求的长度。



GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

为了方便,装置长度应为绝热材料标准长度的整倍数。

### 7.3 防护端头型装置

防护端头型装置(见图 1)使用独立的称为“防护段”的加热管部件,位于计量测试段的两端,且保持在计量段的温度,使装置轴向热流最小化,并且帮助达到均匀的温度,使试件在计量段的所有热流都为径向。除非已知预期的温度不均匀不会对测试结果造成不可接受的误差,计量段与防护段的加热器都应设计成在长度方向达到均匀的温度。如果需要的话,在单一防护段的外端使用辅助加热器或在每端设置第二防护段。每个防护段(或双防护段的总长度)应足够长,使计量段的每一端,在装置及试件内的综合轴向热流都限制在可以接受的小的数量(相对计量段的传热量)。

注 12: 还没有预测防护段准确长度或温度不均匀程度,以达到要求的测试准确度的分析。希望这种分析即将出现的同时,装置应设计成与现有的已经被证实的装置一样的近似几何比例,并尝试使整个防护长度达到温度均匀。

注 13: 在测试试件为基本均质、只有适度的各向异性、厚度不大于管子直径时,对于 88.9 mm 外径的装置,已发现防护段长度约 200 mm 是满足的。当测试更厚的试件或试件轴向导热率较高时可能会需要更长的防护段。

在加热管以及测试管的防护段与计量段之间以及双防护中每个防护段之间,都应该设有隔缝(除了结构支持需要的小的连接桥),通常宽度不大于 4 mm,这些隔缝可用导热系数远低于管子的材料填充。

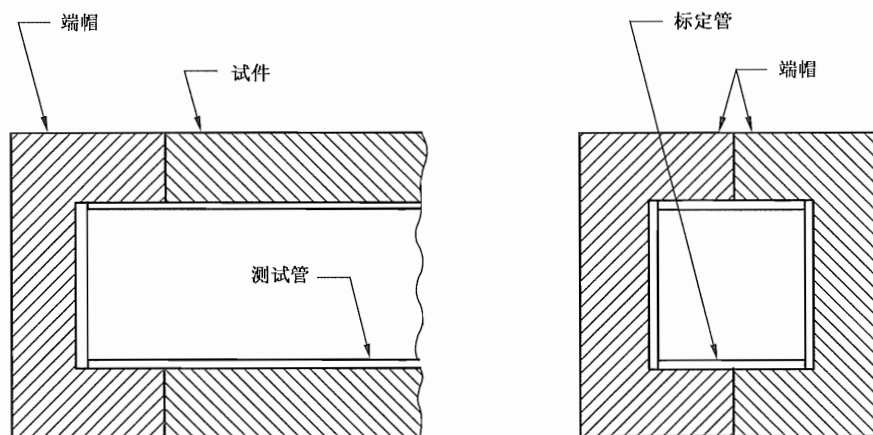
每个隔缝应装有内部隔板,使各段间的对流和辐射传热最小化。应该在测试管隔缝两边安装热电偶,它们距离隔缝不得超过 25 mm,且连接成温差热电堆。也应在加热管或计量段到防护段提供高导热路径的所有支撑元件上安装热电偶。

### 7.4 标定或计算端头型装置

标定或计算端头型装置(见图 2),在计量段的每个端头上使用绝热帽来使轴向热流最小化。端头绝热帽热损失的修正,应由在测试条件下的直接标定(标定端头型装置)或使用材料性能计算(计算端头型装置)决定。内部电加热器应该设计成长度方向对计量段进行均匀的加热。如果在计量段长度内使用了附加的端头加热器,这个加热器的功率应该包括在计量段功率的测量结果中。

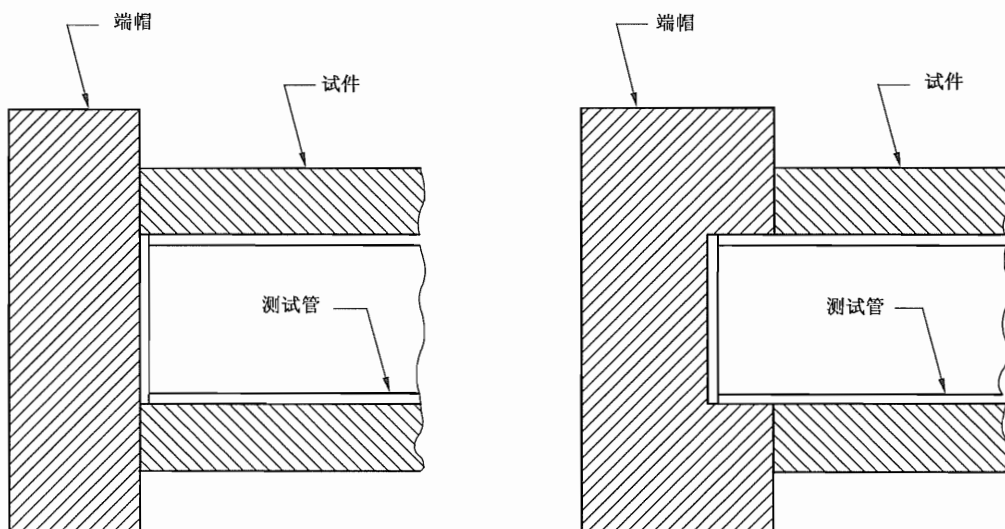
#### 7.4.1 标定端帽与标定管

对于标定端头型装置,端帽应该与测试的试件有相同的横截面积和相似的传热特性。每个端帽应有一个空腔,其深度最少为测试管的半径,尺寸可以容纳测试管的端头。标定管由一个长度为两个端帽空腔深度之和的同样的短管组成。它应配有同测试管内相似的内部加热器,包括任何补充端头加热器。最少四个热电偶呈 90°分布安装在标定管的表面来测量它的温度。这些热电偶的线经应与实际使用的一样,但任何情况下直径都不得大于 0.64 mm。



a) 标定端头型装置

图 2 标定或计算型端头装置



b) 另一种结构：计算端头型装置

图 2 (续)

#### 7.4.2 计算型端帽

对于计算端头型装置,端帽外径应与测试的试件同样大或更大一些(见图 2)。端帽应由低导热系数的均质绝热材料制成,且可以选择有一个用来放测试管端头的空腔[但要注意 10.2.3.1 d)的限制]。在预期使用温度范围内,端帽材料的导热系数应由防护热板法或热流计法测定。如果材料不是各向同性,应按计算过程中要求,测定不同方向上的导热系数。

#### 7.5 管表面温度的测量

计量管计量段的表面温度应该由至少四支热电偶测量,或者在管子长度上每 150 mm 一支热电偶,以大者为准。这些热电偶应纵向分布在计量段等长度的中心,且在圆周上以等间距角成螺旋状分布。

#### 7.6 温度传感器

通常采用由绝缘的热电偶线制成的裸珠状热电偶,本标准贯穿全文指定其为温度传感器。这样的热电偶应该单独标定或由同一卷已标定的优质金属丝制成。通常,金属丝的直径越小越好,在任何情况下,在测量金属表面时不得大于 0.63 mm,测量非金属表面时不得大于 0.4 mm。在显示的温度等于裸珠热电偶所显示的时候,也可以使用矿物绝缘的金属铠装热电偶、电阻温度计、或其他温度传感器。平均温度可由几支热电偶的单独读数平均值而得,或者将热电偶热结点电气绝缘,且在总电阻相同的情况下,将热电偶并联连接,直接读出平均值。为了测量计量段和防护段间的隔缝温差,将热电偶串连成温差热电偶。

#### 7.7 温度测量系统

通常是一个直流电位计或数字微伏计的温度测量系统,应有足够的准确度以限制测定温差产生的误差在一个可接收的数量。

注 14: 温差测量的百分比误差会导致按第 3 章公式计算得出的传热特性产生同等的百分比误差。因此,对于规定的温差和选择的可接收的误差限,可使用标准误差分析(见 12.1)来确定温度测量的要求。举一个极端的例子,对于一个温差低到 20 K 的测试,如果温差测量引起的误差为 1%是可接受的,那么测量温差必须准确到 0.2 K 之内。如果温度是单个测量且误差是随机的,单独的温度测量必须准确到 0.14 K 以内(单个测量中的固定偏移误差会在温差测定中消除)。很明显,对于大温差的绝对测量准确度的要求明显较低。

#### 7.8 电源供给

计量段加热器的电源应精密稳压,可以是交流的或直流的。如果使用防护加热器,除非使用自动控制器,其电源应该是调节的。

## GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

### 7.9 功率测试系统

测量计量段加热器的平均功率的功率测试系统,准确度应该达到 $\pm 0.5\%$ 。如果功率输入稳定,可以由已校准的瓦特计或测量电压和电流(使用标准电阻)的电压测量系统组成。如果功率输入为变量的或脉动,应该使用积分式(电能)仪器如焦耳(瓦小时)表。

在所有情况下,应注意测量的功率仅仅是消耗在计量段的。应对导线、降压电阻器或无补偿的瓦特表所消耗的功率进行修正。

### 7.10 环境控制与测量

应提供能够控制温度的密封箱或房间;在测试管与环境空气之间的温差等于或小于 200 K 时,应可以维持环境空气温度在 $\pm 1$  K 之间,温差大于 200 K 时,在 $\pm 2$  K 之间。密封箱或房间应设计为可以将环境空气维持在任何要求的高于或低于正常温度。装置应位于在空气基本静止的区域,且不应靠近其他可能改变被加热的试件周围的自然对流方式的其他物品。可能与试件进行辐射换热的所有表面或物体的半球发射率最小为 0.85,且温度应与环境空气相近。为使用其他气体而不是空气,以及按要求的方向和大小建立强制的空气速度来模拟风的影响,可配备附加设备。

设计和安装空气温度传感器时,不应使其受被测管和其他热源直接影响。通过试验确定合适的位置,必要时应使用辐射防护罩。不应直接布置在装置的上方。

### 7.11 外套或附加绝热层

用附加可以控制温度的外套来改变试件的外表面温度,使其达到所希望的不同于环境的温度。另一个提高试件外表面温度的方法是用附加的绝热材料层覆盖试件。不管使用哪一种,按 8.6 中规定用来测量试件外表面温度的热电偶,应先于外套或附加绝热层安装。为了不减少试件内部的辐射换热,外套或附加绝热层的内表面(面对试件)的发射率应大于 0.8。这种情况下,不能测定传热率。

## 8 试件

### 8.1 一般要求

一般要求见 5.1 和 6.1。

### 8.2 抽样

如果测试结果被认为代表一种制品型号或特定的一批产品等,或一种材料(在材料均匀的情况下)的话,那么应该遵循适当的抽样计划。如果没有这样的计划,测试结果将被认为仅代表被测试的试件。

### 8.3 安装

在确定试件的细节和把它用到测试管时应考虑测试的预期目的。有些考虑是:将试件固定在测试管上的方法、接缝处使用的嵌缝剂或其他材料和是否用外套、覆盖物、捆扎带、反射屏蔽层等。除非有其他目的或者规定,试件应该用正常的实用方法固定在测试管上,并且应包括在正常使用时使用的外套和其他部件(见 6.1.1)。

### 8.4 状态调节

除非被测试的材料已显示出不需要这些步骤已可获得复现的结果,试件在测试前应干燥或采取其他措施使其稳定。(可应用时)对于该材料规定的状态调节程序应该遵守;否则,除非试件会受到不利影响,正常程序是温度在 102 °C 到 120 °C 之间烘干至恒重。例如,推荐的石膏的最高干燥温度为 40 °C,泡沫塑料为 55 °C 到 60 °C。在有些情况下,会要求更低的温度。

需要时可测定状态调节引起的质量变化、应测定状态调节后的质量和密度。

### 8.5 尺寸测量

试件安装在测试管上后,为描述其形状,应该测量外部尺寸,误差在 $\pm 0.5\%$ 之内(测试前和后)。对圆形的形状,应使用软钢尺来测量周长,除以  $\pi$  得到直径  $D_2$ 。另外一种测量外径的办法是使用卡钳。考虑非正圆形的影响,只有以足够数量的测量进行平均,才可以采用这方法。

GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

计量段长度应该至少分为四等分,除非要避开被研究的不规则处,尺寸测量应在每个等分的中部进行。应进行附加的测量来描述不规则性。对于防护端头型装置,应该对每个防护段中心进行附加的测量。

预定全长具有均匀横截面的试件,如果任一单独尺寸(计量段或防护段)与计量段的平均值的偏差大于5%,应剔除该试件。

注15:产品的技术规范可能要求进行附加的尺寸测量,如内径或厚度。这些测量应按规范的指导进行。

## 8.6 试件表面温度测量

测量外表面平均温度  $T_2$  的热电偶,应该依照以下方法安装在绝热材料表面。

### 8.6.1 热电偶的位置

计量段长度至少分为四等分,表面的热电偶应在长度方向上位于每等分的中间。大型装置需要更多数量的热电偶。对于圆形,热电偶也应该在圆周上等距离的布置成整数圈的螺旋形式,且相邻的热电偶角距从45°到90°。以上规定的位置,只要有可能的话,应该与任何接缝或其他不规则地方的距离等于试件厚度。为记录表面温度的需要,应使用附加的热电偶。在这种情况下,报告中应给出单独的温度与位置(见13.6)。

### 8.6.2 热电偶的固定

热电偶应固定在表面,这样结点和所需长度的相邻导线与表面保持良好的热接触,但不改变邻近表面的辐射发射率特性。

#### 8.6.2.1 非金属表面

对于非金属表面,最少100 mm的相邻导线应该与表面保持接触。一个满意的固定方法是使用胶带粘在试件表面或是用胶带绕围在试件,胶带自身相粘。当试件表面是平整的,但是温度不均匀时,应把热电偶固定在小的金属薄片(符合试件表面的曲率,约20 mm×20 mm或者更小)上。这样的金属薄片的表面应该有涂层或其他覆层,使其发射率与试件表面近似。

#### 8.6.2.2 金属表面

对于金属表面,最少10 mm的相邻导线应与表面保持接触。可以接受的热电偶结点固定方法有镶嵌法、熔焊、锡焊或钎焊,或者使用与表面发射率相同的金属带。特别推荐电容放电焊接。与表面相同的小薄金属带可以熔焊到表面来保持导线与表面接触。

## 8.7 高热导元件

应在轴向高热导元件(如金属外套和套管)上安装热电偶,测量轴向温度梯度,以便计算轴向传热率。有此类元件的试件应该使用防护端头型装置进行测试,这些热电偶应安装在计量段与防护段之间的隔缝两侧,每边等距约为45 mm处的底部和顶部。

## 9 步骤

### 9.1 尺寸测量

测量计量段的长度  $L$ , 试件外周长, 和为描述形状或另外要求的其他尺寸。通常在本方法中使用的尺寸应该是在10℃~35℃之间环境温度下测量。如果要求基于运行温度下实际尺寸的特性, 运行温度下的实际尺寸, 可由在环境温度下测量的尺寸和用事先测量或已知的热膨胀系数计算获得, 或者可以在运行温度下直接测量。任何基于运行温度下尺寸的特性也应如此定义。

#### 9.1.1 测试长度

对于防护端头管装置, 计量段长度  $L$  是计量段两端的隔缝的中心线的距离。对于标定或计算端头型管, 测试长度  $L$  是端帽之间的距离。

#### 9.1.2 直径

试件的外部尺寸应该按8.5中规定进行测量。

## GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

### 9.2 环境要求

在控制到要求的环境温度的小室或密封箱中进行装置操作,在测定过程中,温度变化不超过 $\pm 1\text{ K}$ 或测试管与环境温差( $T_0 - T_a$ )的 $\pm 1\%$ ,两者以大者为准。除非需要明显的流速以达到温度均匀或者空气的速度的影响是测试条件的一部分,测试应在基本静止的空气(或其他所需气体)中进行。任何强制的流速应该测量,并在报告中给出其大小和方向。

### 9.3 测试管的温度

将测试管(防护端头型装置的计量段)调整到要求的温度。为了表征材料的特性,要在一个温度范围进行多次测试时,应在此范围内近似等距离的选择最少三或四个温度进行测试。如果只需要一个温度的数据,例如,质量控制或验收测试,测试可以在那个温度进行,或者在略高于与略低于要求温度测出的数值中,使用内插法获得。

注 16: 测试常常是在绝热材料外表面暴露在普通的环境温度之中进行。这些情况能复制大多数应用的情况,其温差随着管的温度及相应的平均温度的增长而增长。如果要求复制其他应用情况或维持一个小的温差,外表面温度可以通过改变环境空气温度或者通过控制温度的外套来升高或降低,或者通过附加的绝热层来升高。这种测试条件应该包含在报告中。

### 9.4 防护平衡

当用防护端头法时,调整每个防护段的温度,使计量段与防护段之间隔缝的温差(在测试管表面测得)降为零或不大于导致测热流量误差为 $1\%$ 的数值。经常会要求进行两个测试,一个为防护段的温度略高于计量段,另一个略低。对这两次测试进行内插,得到沿着内部连接桥的平衡热流为零的准确值和计量段功率输入的准确值,并提供符合 $1\%$ 判据最大允许不平衡值的信息。一个经常被使用的判据,是不平衡不大于试件温度差( $T_2 - T_0$ )的 $0.5\%$ 。这并非所有条件都是必需的。

按理想情况,外部测试管与内部加热管两者的测试段与防护段之间的隔缝以及沿任何内部支撑元件的温度梯度都应该为零,以消除管内轴向热流。在一些设计中,不可能表面及内部元件两者同时都平衡的,这可能需要修正内部装置的轴向损失。当连接桥仅在外部测试管时,将测试管表面隔缝(在计量段与防护段之间)平衡为零就足够了,不必修正。当装置使用了内部连接桥,必需使用 7.3 中规定的内部热电偶的读数,连同连接桥的尺寸及传热性质,来估计内部轴向损失。这些损失必需加入(或扣除)输入计量段的测量功率中。

### 9.5 热测量

#### 9.5.1 要求的数据

在达到稳态条件之后,测定:

- 管计量段的平均温度  $T_0$ ;
- 计量段与防护段的平衡(防护端头型装置);
- 试件外表面的平均温度  $T_2$ (如果只要求测量传热率,可以省略);
- 环境空气的平均温度  $T_a$  和与使用了强制气流时的空气速度;
- 计量段加热器的平均电功率(如果功率稳定的为瞬时值,否则为总能量除以测试周期)。

#### 9.5.2 轴向热流

##### 9.5.2.1 装置中

在计量段与防护段的交界处,对任何内部加热管或连接桥测量轴向温度梯度(见 7.3 与 9.4)。

##### 9.5.2.2 试件中

对于包含高轴向导热率元件的试件,使用 8.7 中规定的热电偶测量轴向温度梯度。使用梯度的平均值与已知的尺寸与高导热元件的导热特性,计算总的轴向导热的估计值。如果试件任一端轴向热流被估计大于输入计量段热量的 $1\%$ ,测试结果予以剔除。

#### 9.5.3 测试周期与稳定性

持续观察直到最少三组成功的观测(每组观测至少相隔 $0.5\text{ h}$ ),每组观测值与三组观测的平均值

相差不大于1%,且没有显示单向变化的趋势。当使用积分仪器测定功率时,每次观察至少为期0.5 h。在某些情况下可能有更多严格的要求。

## 10 端帽的修正

对于标定或计算端头型装置,需要对通过的端帽的热损失进行修正。防护端头型装置不需要修正。

### 10.1 端帽的标定

#### 10.1.1 温度范围

标定端头型装置需要对端帽进行标定。在打算使用的温度范围内,以近似等间距的温度进行三次标定,并绘制电功率对管与环境空气的温差的曲线。应得到每个环境温度的单独的标定曲线。如果测试装置仅仅是在一组条件下使用,那么在同样环境温度下,进行标定管温度略高和略低于要求的温度两次标定,使用内插法是方便的。

#### 10.1.2 装配

装配端帽到标定管上,用玻璃纤维或其他合适的密封材料来密封好缝隙。连接电源与热电偶的导线。

#### 10.1.3 标定步骤

调节加热器输入功率来达到要求的温度。在达到稳态后,在超过半小时的时间内,做必需的观测来确定标定管和环境空气的温度以及加热器平均功率。

继续观测直到至少三组成功的观测(每组观测至少相隔0.5 h),每组观测的值与三组观测值平均值相差不大于1%,且没有显示单向变化的趋势。当使用积分仪器测定功率时,每次观察至少为期0.5 h。在某些情况下可能有更严格的要求。

### 10.2 计算型端帽

#### 10.2.1 计算步骤

对于计算端头型装置,要求对端头的轴向热损失进行修正。业已证明满意的几种方法的任何一种都可使用。

#### 10.2.2 van Rinsum 法

##### 10.2.2.1 方法概要

轴向热流会造成测试管表面指向端头的温降,它是加热管(以及内加热器)和试件的导热系数的函数。如果测量这个温降且管和加热器的导热系数已知,就可以通过测量热流密度计算试件导热系数。Van Rinsum 法是计算出加到管中央测得的表面温度上的一个温度。然而,在标准导热系数公式(见3.5)中使用修正过的管表面温度。方法如下:

##### 10.2.2.2 测量

在测试管的中间,沿着测试管圆周的顶部、底部和两边均匀地布置四支热电偶,应在中间向两边相距X的地方布置类似的四支一组的热电偶。距离X应为200 mm或更大。这些热电偶应设置在凹槽中,如7.5中描述的固定。应该得到每组四支热电偶的平均读数。

##### 10.2.2.3 计算

由下式计算导热系数的近似值 $\lambda'$ :

$$\lambda' = \frac{\phi \ln(D_2/D_0)}{2\pi L(T_{om} - T_2)} \quad \dots\dots\dots (10)$$

除 $T_{om}$ 外,所有符号已经在第4章中定义, $T_{om}$ 是测试管中点表面的温度(四支热电偶的平均值)。

按下式计算修正因子 $c$ :

$$c = \frac{2\pi\lambda'}{(A_1\lambda_1 + A_2\lambda_2)\ln(D_2/D_0)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

其中:

$A_1$  和  $\lambda_1$  分别是测试管的横截面积和导热系数;

$A_2$  和  $\lambda_2$  分别是内部加热管的横截面积和导热系数。

按下式计算应用于管中点表面温度的修正值  $\Delta T_{0m}$ :

$$\Delta T_{0m} = \frac{T_{0m} - T_{0x}}{\cosh_2(X\sqrt{c})} \quad \dots\dots\dots (12)$$

其中  $T_{0x}$  是在管中心面向两边  $X$  距离处的管表面平均温度(八支热电偶的平均值,每边四支)。

按下式计算修正后的导热系数  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\Phi \ln(D_2/D_0)}{2\pi L(T_{0m} + \Delta T_{0m} - T_2)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

### 10.2.3 Nukiyama 法

#### 10.2.3.1 方法概要

通过绝热端帽的热损失和加长计量段时对所测得的总功率有相同的影响。Nukiyama 法计算了一个加于所测得的计量段长度的修正值,然后在 3.5 的导热系数公式中使用修正的长度。为使用此方法,应满足以下条件:

- a) 端帽的材料与试件的材料应为均质与各向同性的;
- b) 端帽材料的导热系数应与试件相同;
- c) 端帽外径应与试件相同;
- d) 测试管应与试件长度相同,且在长度方向上均匀加热。

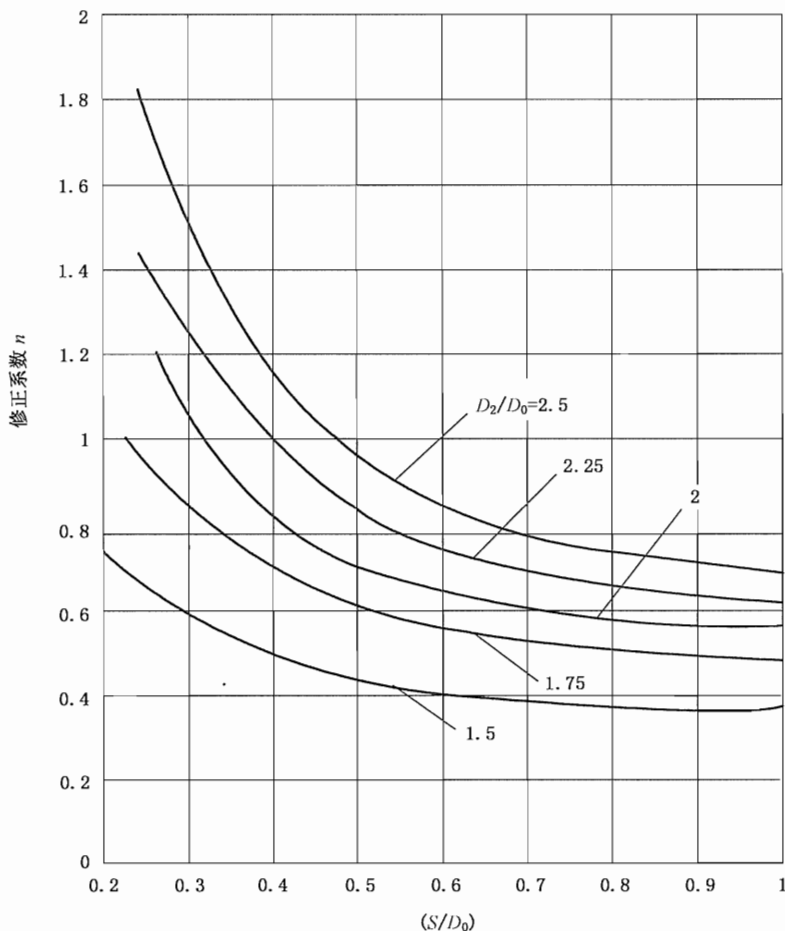


图 3 Nukiyama 法修正系数

### 10.2.3.2 计算

导热系数应按以下公式计算:

$$\lambda = \frac{\Phi \ln(D_2/D_0)}{2\pi(L + nD_0)(T_0 - T_2)} \dots\dots\dots (14)$$

系数  $n$  应采用适当的直径比( $D_2/D_0$ )和端帽厚度与管径比( $S/D_0$ )从图 3 查得。

### 10.2.4 有限差分法

另一个方法是使用有限差分法,用与端帽同一批材料制成的平板状试件测定的传热特性,或者如果估算表明,预期的误差在允许的测试不确定度之内,也可以从其他类似的材料获得传热特性。材料导热性能的测定可以使用防护热板法(见 ISO 8302:1991)或热流计法(见 ISO 8301:1991),如果材料不是各向同性的话,应该在所有适当的方向(通常在轴向和径向方向)上进行测试。

## 11 计算

应对按 9.5.3 的记录三组(或更多的)观测结果的每组数据进行计算要求的传热特性,并且按 13.9 报告其平均值。计算使用第 3 章中的公式,或对于计算端帽装置,使用 10.2 中合适的公式。适当的时候,应用测得的温度梯度、尺寸及材料性能(见 9.4)算出通过内部连接桥的轴向热损失,对测得的功率进行修正。对于标定端头型装置使用 10.1 中确定的标定修正值。

## 12 测试精密度与准确度

### 12.1 估算

测试的精密度与准确度决定于装置及其操作、试件特性及选择的测试条件,因此不能做出可以应用于所有测试的简单的定量的陈述。对于每组测试条件,可以对参与传热特性计算的各项进行单独的误差估算,然后用统计误差传递理论综合各个误差,估算最终结果的不确定度。

### 12.2 实验室间比对

实验室间比对测试项目可以用来获得本方法精密度的评估。

注 17: 由 9 个实验室参加的一个实验室间对比程序显示,对相同试件测定的结果差异不大于平均值的 3%。这个程序包括对玻璃棉绝热材料在环境温度控制在 20 °C~25 °C,平均温度在 60 °C~160 °C 范围内进行测定。超出所报告的条件时,本方法的精密度未经证实。在 ISO/TC 163 支持下,正在计划新的对比程序。

## 13 测试报告

测试报告应该包括以下子条款中规定的信息。

### 13.1 一般要求

测试试件的描述,抽样与测试步骤,测试装置及结果,适当时绘制应用范围内的测试特性对温度的曲线。无论何时要报告数字值,并应说明单位。应包括 13.2~13.12 列出的适当项目。

### 13.2 试件描述

试件描述以及其他的识别标志,包括交易商与制造商的名称、材料的一般类型、制造日期、获取日期及来源、公称尺寸及形状,以及有要求的话还包括公称质量与密度。也应报告测试前和测试后观察到的任何不寻常的试件状态

### 13.3 尺寸及密度

测量的尺寸以及在测试前和测试后测量的质量和密度。如果尺寸不是在环境温度下测得,报告中应给出温度和测量尺寸的方法。

### 13.4 安装

操作和固定于测试管的方法的描述,包括任何绑带或紧固件的数量、类型以及位置,外套或覆盖物的类型(如果使用的话),任何使用的密封剂的类型和位置,试件是否与管装配紧密,试件与管间是否有空气隙。如果可能的话,报告中应给出空气隙的厚度。



## GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

### 13.5 状态调节

描述采用的任何状态调节或干燥步骤,如果获得的话,还有由于状态调节或干燥引起的质量,密度或尺寸变化。

### 13.6 温度

应该给出下列温度:

- a) 测试管计量段的平均温度  $T_0$ ;
- b) 试件外表面平均温度  $T_2$  以及不规则试件用来描述不均匀表面温度(见 8.6.1)的热电偶读数  
和位置。

### 13.7 环境条件

环境气体的类型,其平均温度  $T_a$  以及有强制气流时的速度(大小与方向)或其他控制外部温度的方法的详情,例如额外的绝热层或温度控制的外壳或毯。

### 13.8 功率

计量段平均输入功率以及采用的任何修正。

### 13.9 传热特性

所需的传热特性包括下列(可应用的)任何特性或所有的特性,其相应的平均温度为  $(T_0 + T_2)/2$ 。这些特性应该是在第 11 章中计算的平均值。

- a) 线传热率  $K_1$ , 相应的环境温度,  $T_a$ , 以及表面传热系数,  $h_2$ ;
- b) 线热导率  $\Lambda_1$ ;
- c) 线热阻  $R_1$ ;
- d) 导热系数  $\lambda$ ;
- e) 热阻系数  $r$ ;
- f) 绝热材料表面传热系数,  $h_2$ ;
- g) 面热导率  $\Lambda$  以及参考面;
- h) 面热阻  $R$  以及参考面。

### 13.10 误差估算

测定结果的误差估算。

### 13.11 与本标准的不同

参照本标准以及任何不同。

### 13.12 特殊计算

使用的任何特殊计算的概要或参考。

GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

附 录 NA  
(资料性附录)  
补充说明

ISO 7345 中有关的术语已转化在国家标准 GB/T 4132—1996 中,ISO 8301:1991 和 ISO 8302:1991 已转化为国家标准 GB/T 10294 和 GB/T 10295,本标准使用者可参照使用。

---

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
绝热层稳态传热性质的测定  
圆管法

GB/T 10296—2008/ISO 8497:1994

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 32 千字  
2008 年 10 月第一版 2008 年 10 月第一次印刷

\*

书号: 155066 · 1-33282

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68533533



GB/T 10296-2008