



中华人民共和国国家标准

GB/T 13475—92

建筑构件稳态热传递性质的测定 标定和防护热箱法

Building element—Determination of steady-state thermal
transmission properties—Calibrated and guarded hot box

1992-06-04 发布

1993-03-01 实施

国家技术监督局 发布

目 次

1 主题内容与适用范围	(1)
2 引用标准	(1)
3 术语、定义、符号和单位	(1)
4 原理	(3)
5 装置	(4)
6 测量步骤	(6)
7 计算	(7)
8 结果评价	(7)
9 测量报告	(7)
附录 A 表面换热及环境温度(补充件)	(9)
附录 B 误差分析(参考件)	(11)
附录 C 装置品质检验(参考件)	(17)
附录 D 装置设计(参考件)	(19)

中华人民共和国国家标准

建筑构件稳态热传递性质的测定 标定和防护热箱法

GB/T 13475—92

Building element—Determination of steady-state thermal
transmission properties—Calibrated and guarded hot box

本标准等效采用国际标准草案 ISO/DIS 8990《绝热——稳态传热性质的测定——标定和防护热箱法》。

许多建筑构件中的热传递是导热、对流和辐射三种方式的复合过程。本标准所描述的方法只测量在给定的温差情况下,从试件一侧传向另一侧的总传热量而不单独考虑某一种传热方式。然而热传递性质经常与试件本身、试件尺寸、传热方向、温度、温差、空气速度和相对湿度有关。因此,测试条件应尽量与预定的使用条件一致。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了实验室测定板状建筑构件和工业用类似构件稳态热传递性质(传热系数或比热阻)的测量过程、装置要求和必需报告的数据。

本标准适用于垂直试件(如墙)和水平试件(如屋面板和楼板),不适用于特殊的构件(如窗)。

本标准规定了两种可供选择的方法:标定热箱法和防护热箱法。

本标准不考虑湿迁移、水气的重新分布和相变对热流测量的影响以及热传递与通过试件的空气传质复合作用,但测定时,应考虑湿迁移对测试精度产生的影响。

2 引用标准

GB 4132 绝热材料名词术语

GB 10294 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法

GB 10295 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法

3 术语、定义、符号和单位

3.1 术语和定义

除下述规定的术语外,本标准所用术语按 GB 4132 规定。

3.1.1 环境温度 T_a

空气温度和辐射温度的加权值,用于确定试件表面的热流量,见附录 A。

3.1.2 表面换热系数 h

稳定状态下,构件表面与周围环境之间的热流密度和温度差的比值。

3.1.3 传热系数 U

通过构件的热流密度除以两侧环境温度之差。

3.1.4 总比热阻 R_t

传热系数的倒数。

国家技术监督局 1992-06-04 批准

1993-03-01 实施

3.2 符号和单位

本标准所用符号及其单位见表1。

表1

符 号	名 称	单 位
R_0	总比热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
R	比热阻	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
U	传热系数	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
h	表面换热系数	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
C_λ	热导率	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
Q	热流量	W
Q_p	加热或冷却的总输入功率	W
Q_1	通过试件计量面积的热流量	W
Q_2	计量箱周边区域平行试件的不平衡热流量	W
Q_3	通过计量箱壁的热流量	W
Q_4	绕过试件侧面的迂回热损	W
Q_5	在试件边界处平行试件的周边热损	W
A	垂直于热流的计量面积	m^2
q	热流密度	W/m^2
d	试件厚度	m
T_a	空气温度	K
T_r	平均辐射温度	K
T_n	环境温度	K
T_s	表面温度	K

3.3 脚标符号

本标准所用的脚标符号及含义见表2。

表2

符 号	意 义
i	内部的,通常为热侧
e	外部的,通常为冷侧
s	表面的

续表 2

符 号	意 义
n	环境的
c	对流的
r	辐射的

4 原理

4.1 概述

本标准基于一维稳态传热原理,在试件两侧的箱体(冷箱和热箱)内,分别建立所需的温度、风速和辐射条件,达到稳定状态后,测量空气温度、试件和箱体内壁的表面温度及输入到计量箱的功率,就可计算出试件的热传递性质。

试件表面的热交换包括对流和辐射。对流和辐射的传热作用综合在“环境温度”的概念中,见附录 A。

对于低比热阻试件来说,表面换热系数是传热系数的一个重要部分,因此正确确定环境温度尤为重要。对高比热阻试件,如果试件任何一边空气温度和辐射温度的不同不影响准确度,那么可以只记录空气温度。

4.2 防护热箱法

防护热箱法中,计量箱置于防护箱内(见图 1)。控制防护箱的环境温度,使试件内不平衡热流量 Q_2 和流过计量箱壁的热流量 Q_3 减至最小。

4.3 标定热箱法

标定热箱法的装置(见图 2)置于一个温度受到控制的空间内,该空间的温度可与计量箱内部的温度不同。采用高比热阻的箱壁使得流过箱壁的热流量 Q_3 尽量小。输入的总功率 Q_p 应根据箱壁热流量 Q_3 和侧面迂回热损 Q_4 进行修正。流过箱壁的热流量 Q_3 和侧面迂回热损 Q_4 应该用已知比热阻的试件进行标定(参见附录 C),标定试件的厚度、比热阻范围应同被测试件的范围相同,其温度范围亦应与被测试件试验的温度范围相同。

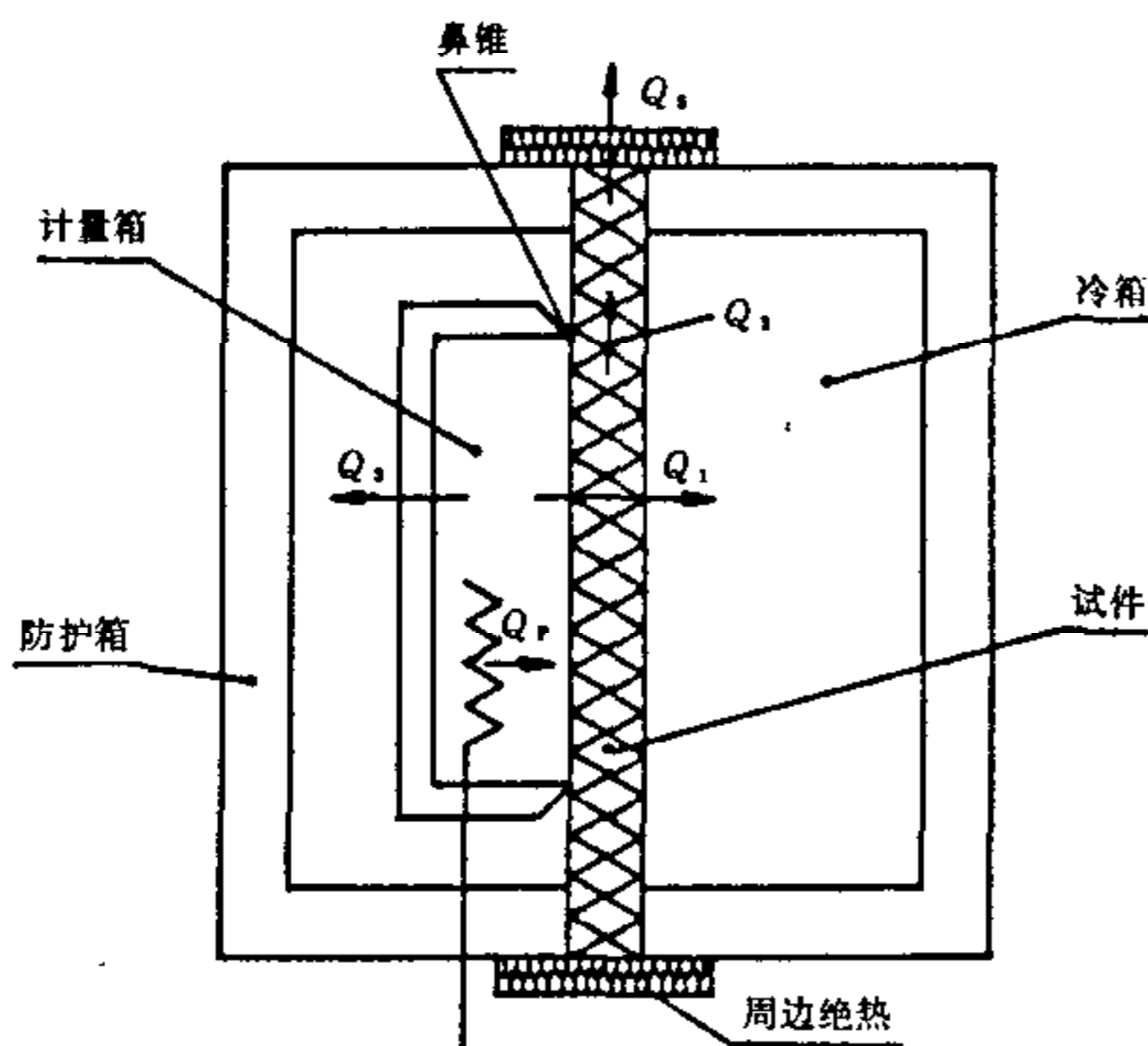


图 1

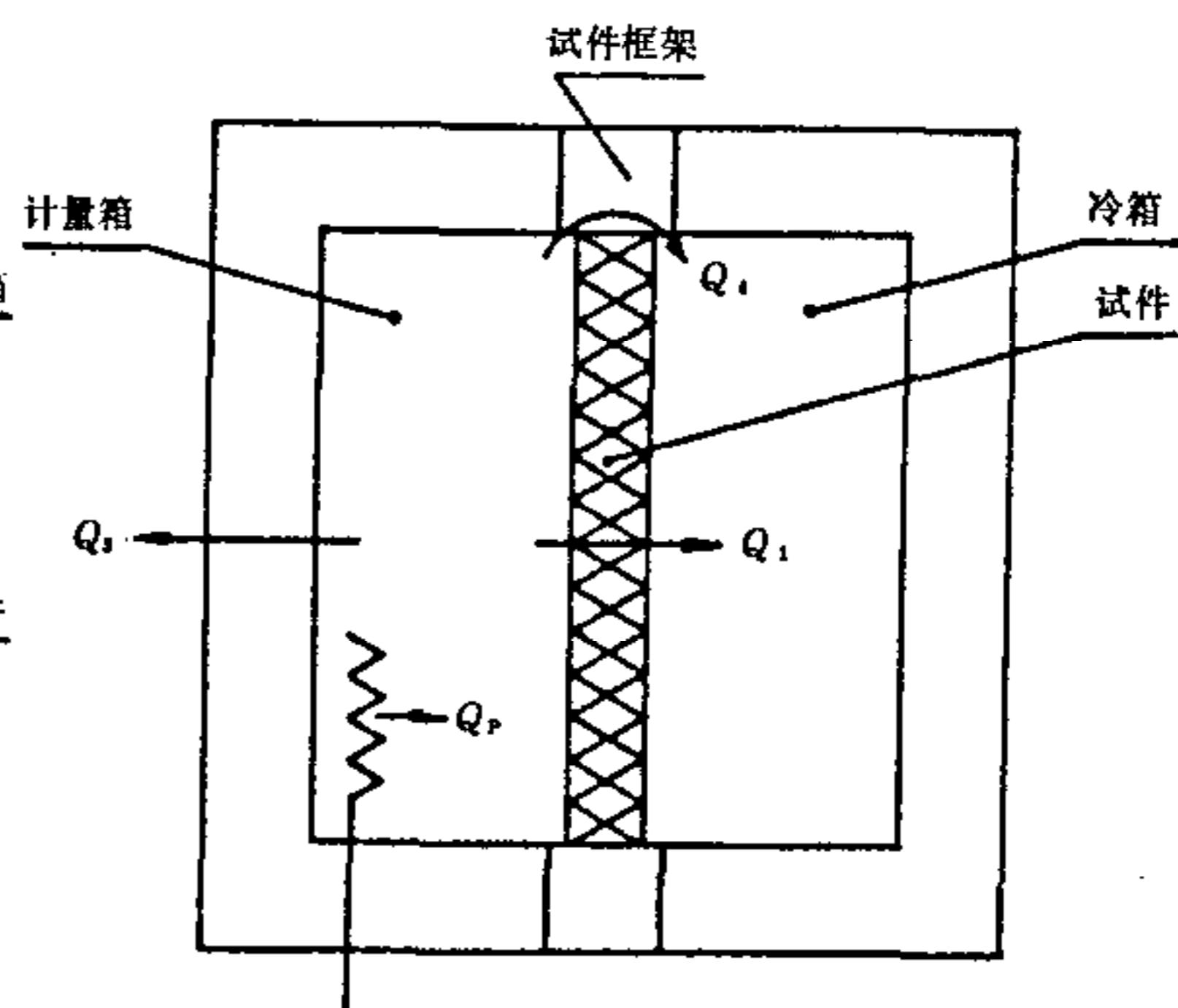


图 2

5 装置

由于被测构件种类和测试条件是多种多样的,因此,本章不指定一个设备的特殊设计或尺寸,只给出必须遵循的要求以及必须考虑的内容。

图 1 及图 2 表示被测试件的典型布置型式及装置的主要组成部分;图 3 及图 4 表示另外一些可供选择的布置型式。

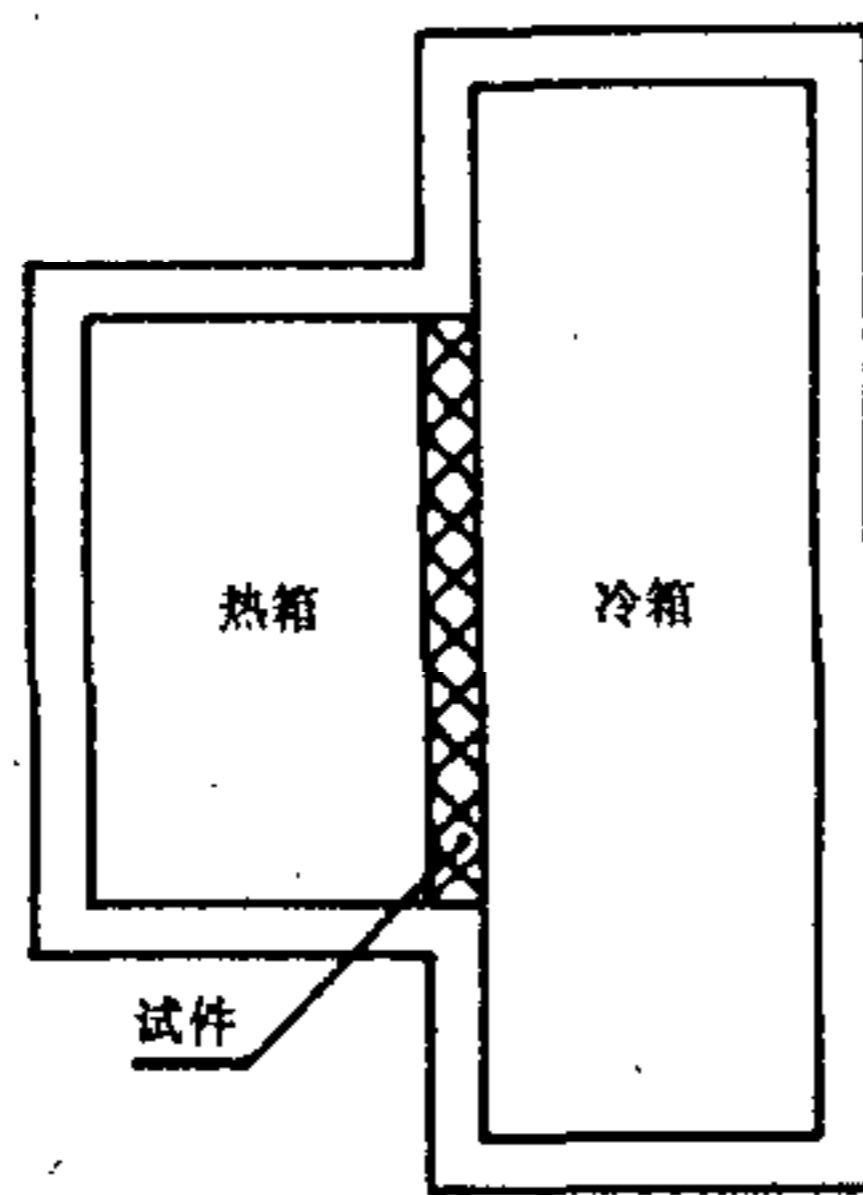


图 3

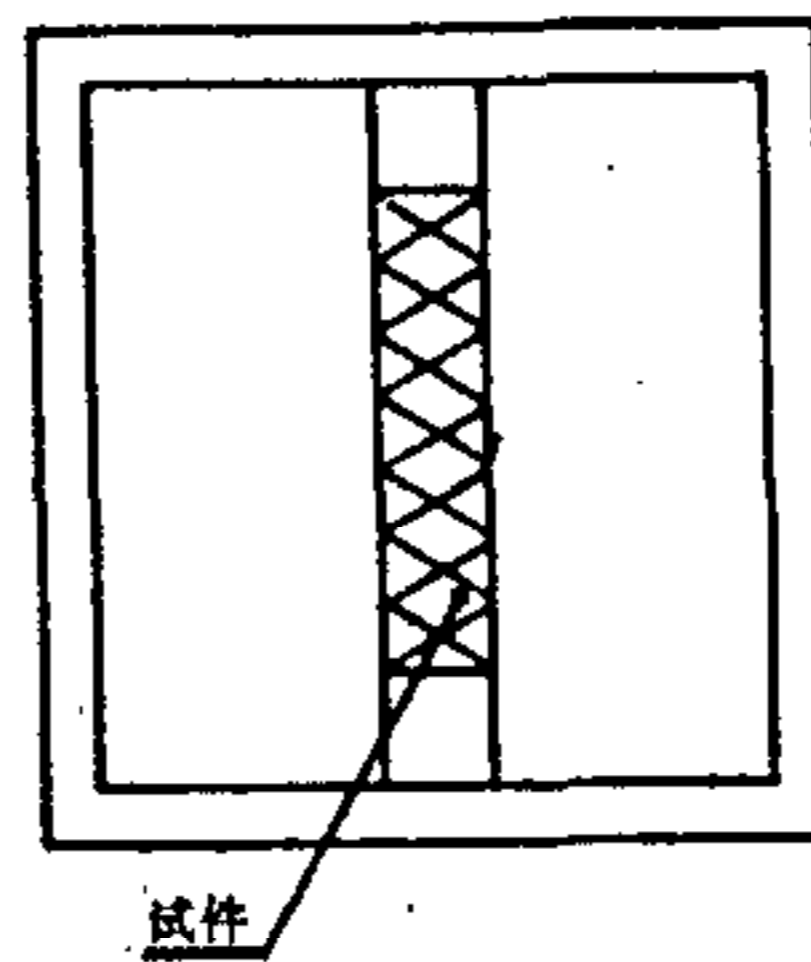


图 4

5.1 计量箱

计量面积必须足够大,使试验面积具有代表性。对于有模数的构件,计量箱尺寸应精确地为模数的整倍数。

计量面积的尺寸取决于试件的最大厚度,参照 GB 10294 规定的原则确定试件大小同厚度的比例关系。

计量箱壁应该是热均匀体,以保证箱壁内表面温度均匀,便于用热电堆或其他热流传感器测量流过箱壁的热流量 Q_3 。 Q_3 的不确定性引起 Q_1 的误差不应大于 $\pm 0.5\%$ 。

箱壁应是气密性的绝热体。可以用泡沫塑料或者用中间为泡沫塑料并有适当面层的夹心板做成。箱壁的表面辐射率应大于 0.8。

防护热箱装置中的计量箱的鼻锥应紧贴试件表面以形成一个气密性的连接。鼻锥密封垫的宽度不应超过计量宽度的 2%,最大不超过 20 mm。

供热及空气循环装置应保证试件表面有均匀的空气温度分布,沿着气流方向的空气温度梯度不得超过 2 K/m。平行于试件表面气流的横向温度差不应超过热、冷侧空气温差的 2%。

通常采用电阻加热器作为热源。热源应用绝热反射罩屏蔽使得辐射到计量箱壁和试件上的辐射热量减至最小。

采用强迫对流时,建议在计量箱中设置平行于试件表面的导流屏。导流屏应与计量箱内面同宽,而上下端有空隙以便空气循环。导流屏在垂直其表面方向上可以移动,以调节平行于试件表面的空气速度。导流屏表面的辐射率亦应大于 0.8。

在垂直位置测量时,自然对流所形成的循环应能达到所需的温度均匀性和表面换热系数。当空气为自然对流时,试件同导流屏之间的距离应远大于边界层的厚度,或者不用导流屏。当自然对流循环不能满足所要求的条件时,应安装风扇。风扇电动机安装在计量箱中时,必须测量电动机消耗的功率并加到

加热器消耗的功率上。如果只有风叶在计量箱内,应准确测量轴功率并加到加热器消耗的功率上,使得试件热流量测量误差小于 $\pm 0.5\%$,建议气流方向与自然对流方向相同,计量箱的深度在满足边界层厚度和容纳设备的前提下应尽量小。

5.2 防护箱

防护箱的作用是在计量箱周围建立适当的空气温度和表面换热系数,使流过计量箱壁的热流量 Q_3 及试件不平衡热流量 Q_2 减到最小。

防护面积大小及边界绝热应满足:当测试最大预期比热阻和厚度的均质试件时,由周边热损 Q_5 引起的热流量 Q_1 的误差应小于 $\pm 0.5\%$ 。

防护箱内壁的辐射率,加热器屏蔽等要求与计量箱相同。

防护箱内环境的不均匀性引起不平衡误差应小于 $\pm 0.5\%$ 。为避免防护箱中的空气停滞不动,通常需要安装循环风扇。

5.3 试件框架

试件框架的作用主要是支承试件。标定热箱装置中试件框架是侧面迂回热损的通路,因此是一个重要的部件,朝向试件的面应由低导热系数的材料做成。

典型的防护热箱装置中,不用试件框架,用边界绝热的方式将 Q_5 减到最小。如果使用试件框架,应按5.2条的要求,使 Q_5 减到最小。

5.4 冷箱

标定热箱装置中,冷箱的大小取决于计量箱的大小;防护热箱装置中,冷箱的大小取决于防护箱的大小。可采用如图1到图4所示的布置。

箱壁应绝热良好并防止结露,箱壁内表面的辐射率、加热器的热辐射屏蔽及温度均匀性的要求与计量箱相同。

制冷系统的蒸发器出口处可设置电阻加热器,以精确调节冷箱温度。为使箱内空气温度均匀分布,可设置导流屏。建议气流方向与自然对流方向相同。电机、风扇和蒸发器应进行辐射屏蔽。空气速度可以调节,测量建筑构件时,风速一般为 $0.1\sim 10\text{ m/s}$ 。

5.5 温度测量

测量空气温度和试件表面温度的温度传感器(一般采用热电偶)应该尽量均匀分布在试件表面上,并且热侧和冷侧互相对应布置。测量所有与试件进行辐射换热表面的温度,以便计算平均辐射温度。

除非已知道温度的分布,各种用途的温度传感器数量至少为每平方米两支,并且不得少于9支。

为提高精度,可用示差接法测量试件两侧的空气温差、表面的温差和计量箱壁两侧的表面温差。

5.5.1 装置和试件表面的温度测量

采用热电偶时其线径应小于 0.5 mm 。热电偶的接点及至少 100 mm 长的偶丝应沿等温面布置,用粘结剂或胶带固定在被测表面以形成良好的热接触,其表面用辐射率与被测表面相同的材料覆盖。

5.5.2 空气温度测量

应对温度传感器进行热辐射屏蔽。

在自然对流情况下,温度传感器应该置于边界层的外面。多数情况下层流边界层厚度为几厘米;紊流情况下边界层的厚度可能超出 0.1 m 。

强迫对流时,试件与导流屏之间应有完全扩展的紊流。应设置温度传感器测量空气的容积温度(绝热混合温度)。

5.5.3 热电堆

用于监视流过计量箱壁热流量的热电堆接点的安装要求与5.5.1的要求相同,并且每 0.25 m^2 至少要有一个接点。

5.6 温度控制

稳态时,至少在两个连续的测量周期内计量箱内温度的随机波动和漂移应小于试件两侧空气温差

的±1%。本要求原则上亦适用于防护箱和冷箱,防护箱的温度控制引起的附加不平衡误差应小于±0.5%。

5.7 仪器

温差测量的准确度应高于试件两侧空气温差的±1%,建议测量仪表增加的不确定性应小于±0.05 K。绝对温度测量的准确度为两侧空气温差的±5%。

热电堆的输出、加热器及风扇的输入功率等的测量仪器的准确度应该使得被测试件的热流量 Q_1 的准确度高于±3%。

5.8 装置的品质检验

当建成一台新的装置或对原有装置进行改进后,在开始正常工作之前,必须细致地进行一系列检验。

6 测量步骤

根据试件的检查和分析,应初步估计出试件热工性能的可能范围值,并评价可能获得的准确度。

对于特殊的试件,应该考虑本标准是否可以应用,或者用其他方法更恰当,如 GB 10294 或 GB 10295 规定的方法,或者通过计算。

6.1 试件的状态调节

为减少试件中热流受到所含水分的影响,建议试件在测量前调节到气干状态。

6.2 试件的选择与安装

测量试件应选择或做成有代表性的。

对非均质试件应作如下考虑:

6.2.1 防护热箱法中,如有可能应将热桥对称地布置在计量面积和防护面积的分界线上,这样,热桥面积的一半在计量箱内,另一半在防护箱内。

如果试件是有模数的,计量箱的周边应同模数线外型重合或在模数线的中间。

如果不能满足这些要求,可将计量箱放在不同位置做几次试验,并且要非常谨慎地考虑这些结果,必要时,辅以温度、热流的测量和计算。

6.2.2 标定热箱法中,应考虑试件边缘的热桥对侧面迂回传热的影响。

试件安装时周边应密封,不让空气或水气从边缘进入试件,也不从热的一侧传到冷的一侧,反之亦然。

试件的边缘应绝热,使 Q_5 减小到符合准确度的要求。

6.2.3 在防护热箱法中,试件中连续的空腔可用隔板将其分成防护空腔和计量空腔,试件表面为高导热性的饰面时,可在计量箱周边将饰面切断。

如果试件表面不平整,可用砂浆、嵌缝材料或其他适当的材料将同计量箱周边密封接触的面积填平。

如果试件尺寸小于计量箱所要求的试件尺寸,将试件镶嵌在一堵辅助墙板的中间。这种情况下,辅助墙板与试件之间的边界范围内的热流将不是一维的,辅助墙板的比热阻和厚度应与试件相同。

测量试件表面温度的传感器的数量、位置及要求与 5.5 条所述相同。

6.2.4 对于非均质试件,上述所要求的温度传感器数目将不能保证得到可靠的平均表面温度。对于中等非均质试件,每一个温度变化区域应该放置辅助温度传感器。试件的表面平均温度是每个区域的表面平均温度的面积加权平均值。

上述情况不能用于极为不均质的试件。在此情况下,不能测量试件的比热阻 R ,只能根据试件两侧的环境温度差确定传热系数 U 。

当试件不均匀性引起的表面温度的局部差值超过试件两侧表面平均温差的 20% 时,可认为是不均质的。

6.2.5 防护热箱装置中监视计量面积与防护面积间试件表面的不平衡热流量 Q_2 的热电堆,除要求计量面积边长上每 0.5 m 设置一对接点外,安装要求与 5.5.1 相同。

热电堆接点的位置不能太靠近鼻锥,亦不能远离鼻锥。参见附录 B。

6.3 测量条件

测量条件的选择应考虑最终的使用条件和对准确度的影响。最小温差为 20℃。根据试验要求调节热、冷侧的空气速度,调节防护箱的温度使 Q_2 和 Q_3 尽可能接近零。

按照 5.6 条的要求控制冷、热箱的温度。

6.4 测量的持续时间

接近达到稳态后,两个至少为 3 h 测量周期内功率和温度测量值及其计算的 R 或 U 平均值偏差小于 1%,并且每 1 h 的数值不是单方向变化时,才能结束测量。对于高比热阻或高热容量的试件,此要求是不够的,必须延长试验持续时间。

7 计算

7.1 稳态的传热性质按照下列关系式用 6.4 条最后两个至少为 3 h 的平均值进行计算:

$$R = A(T_{si} - T_{se}) / Q_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R = 1 / C_\lambda \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R_{si} = A(T_{ni} - T_{si}) / Q_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R_{se} = A(T_{se} - T_{ne}) / Q_1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R_u = 1 / U \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$U = Q_1 / [A(T_{ni} - T_{ne})] \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_1(\text{防护热箱}) = Q_p - Q_3 - Q_2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$Q_1(\text{标定热箱}) = Q_p - Q_3 - Q_4 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中 A 为垂直于热流的计量面积,其尺寸根据下述原则确定。

对于防护热箱法,当试件厚度与鼻锥宽度相比是厚的时候,取计量箱鼻锥中心线所包括的面积;当试件很薄时,取鼻锥的内周边。对于标定热箱法,取计量箱的内周边面积。

7.2 均质试件或不均匀度小于 20% 的试件(见 6.2.4),可根据表面温度计算比热阻 R ,根据环境温度计算传热系数 U 和表面换热系数 h 。如超出上面所述的均匀性或者试件有特殊的几何形状,仅能根据环境温度计算传热系数 U 。

8 结果评价

试验结果应同第 6 章中初步估计值进行比较。按本标准进行测试其准确度应在 ±5% 之内。存在明显差异时,应仔细检查试件,找出它与技术要求的差异,然后根据检查结果重新评价。如果仍存在有不可解释的差异,可能是计算过程过于简单或试验的误差,应找出其根源,并消除之。

9 测量报告

9.1 测量报告应包括下述内容:

- a. 试件名称和描述(包括各种传感器的位置);
- b. 试验室的名称、地址及试验日期;
- c. 试件方位及传热的方向;
- d. 热、冷侧空气的平均速度及方向;
- e. 总输入功率及流过试件的纯传热量;
- f. 试件试验前后的质量、含湿量;
- g. 测量装置的尺寸及内表面的辐射率;

h. 试验条件与本标准有不符时的说明。

9.2 均质试件比热阻的试验除报告 9.1 条内容外,还应报告下述各项:

- a. 热、冷侧的空气温度;
- b. 热、冷侧的表面温度;
- c. 热、冷侧的加权表面温度;
- d. 计算的比热阻和为计算传热系数由建筑规范推荐的常用表面换热系数;

注: a~d 项中所报告的数值是第 7 章中所取数据的平均值。

- e. 估计的准确度;
- f. 测量的持续时间;
- g. 附加测量,即作为试件一部分的材料的导热系数和含湿量测量的持续时间;
- h. 试验结果同第 6 章的初始估计值明显或不能解释的偏差。试件的检查结果及对偏差的可能解释。

9.3 非均质试件的传热系数 U 值的测量,除报告 9.1 条所述内容外,还应报告下述各项:

- a. 热、冷侧的空气温度;
- b. 热、冷侧计算的环境温度;
- c. 根据均质试件计算的传热系数和表面换热系数;

注: a~c 项中所报告的数值是第 7 章中所取数据的平均值。

- d. 估计的准确度;
- e. 测量的持续时间;
- f. 附加测量,即作为试件一部分的材料的导热系数和含湿量测量的持续时间;
- g. 试验结果同第 6 章的初始估计值明显或不可解释的偏差。试件的检查结果及对偏差的可能解释。

附 录 A
表面换热及环境温度
(补充件)

热量传入试件或从试件中传出是通过试件同箱内其他表面的辐射热交换及试件表面的对流换热进行的。第一种机理,传热量取决于所有与试件进行辐射换热表面部位的平均的辐射平均温度;第二种机理,传热量取决于邻近的空气温度。因此,通过试件的热流受到冷、热两个侧面中任何一个侧面的辐射和空气温度的影响。

A1 环境温度

试件任何一个侧面的热平衡方程可写成:

$$Q/A = \epsilon h_r (T'_r - T_s) + h_c (T_n - T_s) \dots\dots\dots (A1)$$

式中: Q ——表面与环境热交换的总热流量, W;

A ——表面的面积, m^2 ;

T'_r ——所有与试件进行辐射换热表面平均的辐射平均温度, K 或 $^{\circ}C$;

T_n ——邻近试件的空气温度, K 或 $^{\circ}C$;

T_s ——试件的表面温度, K 或 $^{\circ}C$;

ϵ ——辐射率;

h_r ——辐射换热系数, $W/m^2 \cdot K$;

h_c ——对流换热系数, $W/m^2 \cdot K$ 。

将辐射温度和空气温度合并成一个单一的符号——环境温度 T_n 。可写出:

$$Q/A = \frac{1}{R_s} (T_n - T_s) \dots\dots\dots (A2)$$

由式(A1)和式(A2)可导出:

$$T_n = \frac{\epsilon h_r}{\epsilon h_r + h_c} T'_r + \frac{h_c}{\epsilon h_r + h_c} T_s \dots\dots\dots (A3)$$

$$R_s = \frac{1}{\epsilon h_r + h_c} \dots\dots\dots (A4)$$

式中: R_s ——表面比热阻;

T_n ——环境温度,将热量传至表面的空气温度和辐射温度适当的加权值。

通常用两个箱之间的环境温差来确定传热系数,而式(A2)是用于确定表面比热阻。

实际上在热箱和冷箱中 T'_r 和 T_n 经常是很接近的,特别在试件比热阻远大于表面比热阻以及使用强迫对流时(此时 h_c 比 ϵh_r 大得多)。在这些情况下,可以根据试件两侧的空气温度来确定传热系数。

确定试件的比热阻,仅需平均表面温度。

A2 环境温度的计算

如 ϵh_r 及 h_c 值已知,并已测得 T'_r 及 T_s 值时,可用式(A3)计算环境温度。

如果用导流屏,并且此屏靠近及平行于试件表面,它的平均温度可取为 T'_r ,并且

$$\frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \quad \dots\dots\dots (A5)$$

$$h_r = 4\sigma T_m^3 \quad \dots\dots\dots (A6)$$

$$T_m \doteq 0.5(T'_r + T_s) \quad \dots\dots\dots (A7)$$

式中： ϵ ——同式(A1)；

ϵ_1 ——导流屏的辐射率，0.97；

ϵ_2 ——试件表面的辐射率，0.9；

σ ——斯蒂芬常数， $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ；

T_m ——参与辐射换热表面的平均辐射温度，K；

T'_r, T_s ——同式(A1)。

如果除导流屏外，还有其他表面直接对试件辐射，则必须直接测量所有的表面温度并且恰当地将它们综合在一起以得到 T'_r 。

对流换热系数 h_c 与各种因素有关，如空气-表面温度差、表面的粗糙度、空气速度、热流方向，因而不易预计。

垂直表面的自然对流换热系数 h_c 的典型值为 $3.0 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。强迫对流时， h_c 远大于 $3.0 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。当 h_c 值不确定时，可以根据式(A1)、(A2)消去 h_c 而得到：

$$T_s = \frac{T_a Q/A + \epsilon h_r (T_a - T'_r) T_s}{Q/A + \epsilon h_r (T_a - T'_r)} \quad \dots\dots\dots (A8)$$

这个方程式对于热流传入(或传出)表面均是正确的。对热流传入表面，符号 Q 取正值(即热侧为正，冷侧为负)。

使用式(A8)还需要确定试件平均表面温度 T_s 。对于非均质的试件 T_s 可能是不知道的，此时，可用式(A3)计算 T_s ，式(A3)中的 h_c 值可由另一种均质试件试验得到。

例：在一次传热试验中，得到下述读数：

输入至计量箱的功率 $Q=31.8\text{W}$

计量面积 $A=1.5\text{m}^2$

则流经试件单位面积的热流量 $Q/A=21.2\text{W/m}^2$

热侧的温度为：

空气平均温度 $T_{a1}=30.98^\circ\text{C}$

导流屏平均温度 $T'_{r1}=29.78^\circ\text{C}$

表面平均温度 $T_{s1}=27.60^\circ\text{C}$

因此：

$$T_m \doteq 0.5(T'_{r1} + T_{s1}) = 28.69^\circ\text{C} = 301.7\text{K}$$

$$h_r = 4 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 301.7^3 = 6.23\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

取 ϵ 为 0.9、得 ϵh_r 为 $5.61\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

h_c 值未知时，用式(A8)：

$$\begin{aligned} T_{s1} &= \frac{30.98 \times 21.20 + 5.61 \times (30.98 - 29.78) \times 27.60}{21.20 + 5.61 \times (30.98 - 29.78)} \\ &= 30.17^\circ\text{C} \end{aligned}$$

冷侧的温度为:

空气平均温度 $T_{s2}=7.39^{\circ}\text{C}$

导流屏平均温度 $T'_{r2}=7.69^{\circ}\text{C}$

表面平均温度 $T_{s2}=8.75^{\circ}\text{C}$

取 ε 为 0.9, 得 εh_r 为 4.54, 计算得 T_m 等于 281.3 K, 根据式(A8):

$$T_{n2} = \frac{7.39 \times (-21.20) + 4.54 \times (7.39 - 7.69) \times 8.75}{-21.20 + 4.54 \times (7.39 - 7.69)}$$

$$= 7.47^{\circ}\text{C}$$

因此:

$$U = \frac{Q}{A(T_{n1} - T_{n2})} = 0.94 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

且表面比热阻为,

热侧:

$$R_{s1} = \frac{A(T_{n1} - T_{s1})}{Q} = 0.12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

冷侧:

$$R_{s2} = \frac{A(T_{n2} - T_{s2})}{Q} = 0.06 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

附录 B

误差分析

(参考件)

B1 前言

防护热箱法和标定热箱法主要是用于测量非均质试件, 由于试件内部、试件与装置表面间的热传递是复合的传热模式, 因此很难估计方法的不确定性。

本附录中给出的是理想情况(测量一个均质试件)的不确定性。

B2 理想情况

B2.1 防护热箱法的误差

防护热箱法的误差可能包含以下各项。

B2.1.1 温度测量

- a. 所测量温度的代表性(温度传感器的位置);
- b. 热电偶(或温度传感器)的标定;
- c. 热电偶参考接点的准确度;
- d. 热电偶连接和补偿导线;
- e. 温度传感器输出的测量准确度(数字电压表或数据采集系统);
- f. 平均温度的计算。

B2.1.2 表面换热系数

- a. 空气温度的确定;
- b. 对流和辐射传热复合效应;
- c. 沿计量箱边缘的温度不均匀性;
- d. 平板均质试件与其他试件的比较;

- e. 沿计量箱鼻锥的均匀性。
- B2.1.3 计量箱周边区域平行试件的不平衡热流量 Q_2 。
- B2.1.4 计量箱壁热流量 Q_3
 - a. 确定通过计量箱热流量的误差；
 - b. 通过计量箱鼻锥，由计量箱壁传入试件的热流量；
 - c. 与计量箱壁接触而引起的试件内温度场的扭曲。
- B2.1.5 防护不充分引起的热流量误差
- B2.1.6 飘移和噪声
 - a. 稳态条件的确定；
 - b. 长期飘移；
 - c. 短期波动(噪声)。
- B2.1.7 湿度影响
- B2.1.8 装置的几何尺寸
 - a. 计量面积的确定；
 - b. 测量计量面积的准确度；
 - c. 确定试件厚度的准确度；
 - d. 非均质试件取代均质试件对确定计量面积的影响。
- B2.1.9 输入功率
 - a. 导线损失；
 - b. 测量风扇功率的准确度；
 - c. 计量箱内有冷却系统时，测量冷却系统功率的准确度。

B2.2 标定热箱法的误差

标定热箱法的误差可能包含以下各项。除 B2.2.3 和 B2.2.5 外，各条内容与 B2.1 各对应项相似。

- B2.2.1 温度测量。
- B2.2.2 表面换热系数。
- B2.2.3 确定侧面迂回热损 Q_4 的误差。
- B2.2.4 计量箱壁的热流量 Q_3 。
- B2.2.5 试件框架绝热不足引起的周边热损 Q_5 ，通常与 B2.2.4 一起考虑，见 B2.1.5。
- B2.2.6 飘移和噪声。
- B2.2.7 湿度影响。
- B2.2.8 装置的几何尺寸。
- B2.2.9 输入功率。

B3 误差讨论

B3.1 输入功率

只要用四线测量技术(即在箱的入口处测量功率)，导线电阻不引起测量误差。否则应确定导线误差并进行修正。

测量直流功率比交流功率的准确度高；测量正弦波功率比测量高波形系数的交流功率的准确度高。

施加在纯电阻负载的功率能测量到 $\pm 0.01\%$ 。施加在电感性负载如电动机的功率能测量到 $\pm 0.5\%$ 。

小型电动机中轴摩擦力是总功率中相当可观的部分，且不是恒定的，因此不可能准确测量其功率。由于整流子的波纹，确定加于小型直流电动机的功率几乎不可能使准确度高于 $\pm 1\%$ 。

测量小于 2 W 的交流功率亦是很困难的。

风扇电机不装在计量箱内,测量风扇的轴功率更困难。

当计量箱中需要进行冷却时,必须测量冷却功率,通常是测量冷却液的质量流量和在计量箱进、出口处冷却液的温度差。这两项都难以测准,因此测量冷却功率的总准确度很难高于 $\pm 2\%$ 。

B3.2 温度测量

测量表面温度时要注意减少接触热阻。对低比热阻试件,宜用高导热的胶而不采用通常的胶带纸固定热电偶。可能存在的空气泡的附加热阻会降低测量表面温度的准确度。

温度测量准确度取决于温度传感器的标定、仪器的准确度及参考点的准确度。

热电偶的标定精度通常高于 $\pm 0.5\text{ K}$ 或 $\pm 0.5\%$,因此,当测量温差时,宜采用示差连接法。

当用热电偶检测小温差时应特别小心,除热电偶接点外,不应有导线接头。若接插件、补偿导线不是与热电偶丝严格等温,将导致零点几度的误差。

仔细准备的冰瓶其参考接点可准确到 $\pm 0.01\text{ K}$ 。电子冰点仪可准确到 $\pm 0.02\text{ K}$,电子冷端补偿通常准确到 $\pm 0.1\sim 0.5\text{ K}$ 。

数字电压表通常分辨率为 $1\ \mu\text{V}$,某些高质量仪表的分辨率为 $0.1\ \mu\text{V}$ 。大多数数据采集器的扫描噪声为 $1\sim 2\ \mu\text{V}$ 。对数字电压表除分辨率外,还应考虑全刻度准确度(通常高于 $\pm 0.01\%$)和长期稳定性及飘移(24 h、30和90 d)。最后一项可能为几个微伏。因此,每次测量时先要进行校核。在自动数据采集系统中,必须用程序消除长期飘移的影响,某些数据采集器装有数字变换程序或模拟计算回路进行数字-温度变换。大多数这种设备具有有限的准确度,一般不适合准确的温度测量,尤其是小温差测量。

测量空气温度时要特别小心,首先要确定温度传感器应设置的位置。

自然对流时,假定在表面与不运动的空气之间存在一个温度差,因此温度传感器应设置在边界层之外。

强迫对流时,有许多方法确定表面与空气之间的温差。当需要计算空气流的能量时,最有用的空气温度的定义是容积温度或绝热混合温度。无论采用什么定义,在空气流中仅有小区域的温度接近定义的温度,该区域随气流形式(层流或紊流)和是否充分扩展(边界层是否占满整个气流)而变。因而,温度传感器不能置于距表面固定的距离,而应根据边界层厚度进行调整。对充分扩展的强迫对流,在距离试件表面为试件到导流屏之间距离的 $2/3\sim 3/4$ 处测量空气温度,可得到较正确的结果。

B3.3 表面换热系数

由于对表面换热系数不准确的理解或由于试件、设备表面换热系数不均匀而出现了某些问题。在测试低比热阻试件时,这些问题尤为突出。

首要的困难是确定由于对流换热引起的温度差。如果分别以容积温度、平均边界层温度、边界层边缘温度等作为参考温度,表面换热系数是不同的。确定表面换热系数正确值的另一困难是事实上空气温度和设备壁的表面温度是不相等的。因此,简单地根据环境温度推算球形表面换热系数(h 为 h_r 与 h_c (辐射和对流)之和)是不真实的。以防护热箱法中试件部分的热面与被这部分“看到”的设备表面的热传递为例。计量箱表面与热侧空气近似平衡,而防护箱壁因传热到实验室空间(其温度通常比装置的热侧的温度低),所以面对试件的防护箱内表面温度低于计量箱表面的温度。

在计量面积边缘,空气速度和边界层受到箱壁的影响。因此,局部对流换热系数在试件的全表面是不均匀的。

防护热箱法中表面换热系数不均匀性可能导致试件表面温度难以或甚至不可能达到要求的平衡程度。下面简单叙述局部表面换热系数不均匀造成计量面积边缘温度的不平衡,其结果示于图B1。自然对流中表面换热系数从顶到底是变化的,而在强迫对流中,由于与试件的热交换,空气流本身的温度是变化的。

如果试件一边为自然对流,为计算被测试件的 U 值,试探性地假设平均表面换热系数 h 为 h_r 与 h_c 之和,由此得到自然对流侧试件与空气的温度差。然后,代入葛拉晓夫数表达式,导出局部对流换热系数,并由此计算新 U 值,以及新的空气到试件表面的温差,与初始值比较,可按要求的重复此过程以得到

实际的局部表面换热系数、表面温度,从而得到计量面积边缘的温度局部不平衡。

强迫对流时沿高度方向(X 方向)空气流的绝热混合温度 T_{mix} 是变化的。如果沿试件的纵向传热可忽略。那么表面温度的变化,可假设为空气流的温度变化。想象一个比热阻 R 为 $3\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 的试件安装在 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的防护热箱装置中,热侧($T=295\text{K}$)为自然对流。冷侧为强迫对流(冷侧空气速度 $u_a=5\text{m/s}$,顶部的空气混合温度 $T_{\text{mix}}=270\text{K}$,边界层厚度 $\delta=0.05\text{m}$),首先假定装置的表面为一个全反射体,从表B1中假定热面的平均对流换热系数 $h_c=1.5\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$,从表B2查得冷面的 $h_c=10.7\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 。由此可得出热侧空气与试件表面的温差 $T_a-T_s=4\text{K}$,冷侧温差 $T_a-T_s=0.6\text{K}$ 。 T_{mix} 的估算表明它维持在 0.03K 内,因而可假定为常数,然后用叠代法算出局部表面温度和对流换热系数。假定设备和试件表面的总半球辐射率 ϵ 为 0.9 ,进行类似计算。结果示于图B1,顶部相应于装置的顶部,曲线A为试件防护面积沿垂直截面的温度分布曲线,曲线B为跨过计量面积沿垂直截面的温度分布曲线,可用在防护箱顶部、计量箱顶部和计量箱外底部的边界层空气分布状态相同来解释曲线A和B的形状。

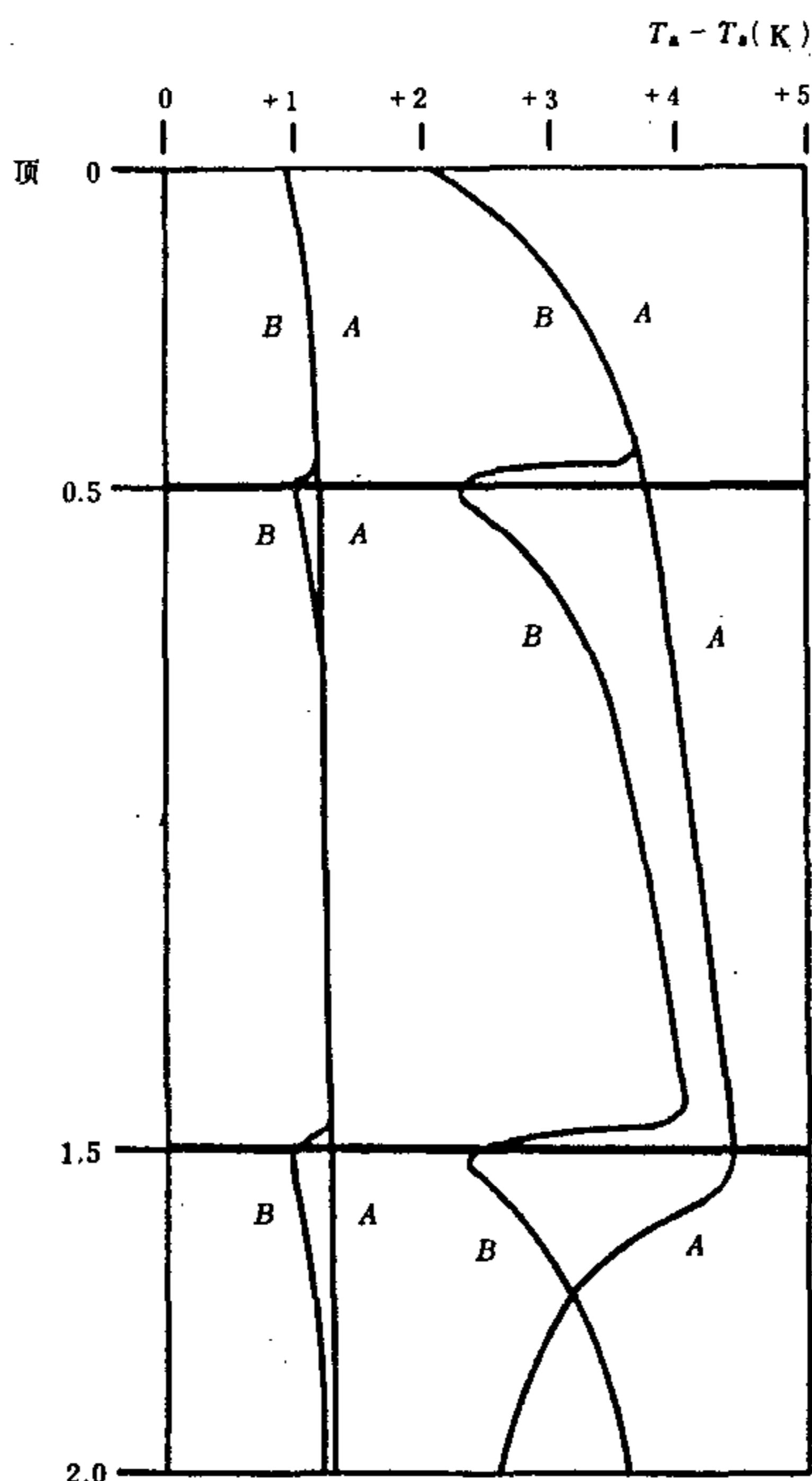


图 B 1 垂直试件的表面温度分布

曲线 A:防护区域的截面

曲线 B:计量区域的截面

右边为反射性表面

左边为高辐射率的表面

图 B1 的分析表明,计量面积顶部的表面温度不平衡是不均匀的,并且与底部的不均匀是不同的(见曲线 B)。相反,在计量面积的侧边,相同高度处的不平衡是相同的,但整个边上是不均匀的(见曲线 A 和 B 之差)。

表 B1

沿试件表面的高度 X m	葛拉晓夫准数 G_r	热侧的空气速度 $u_m, \text{m/s}$	努谢尔特准数 N_{ux}	边界层厚度 δ m	对流表面换热系数 h $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$
0.05	3.72×10^4	0.019	5.24	0.019	2.73
0.125	5.81×10^5	0.031	10.4	0.024	2.17
0.25	4.65×10^6	0.043	17.5	0.029	1.82
0.50	3.72×10^7	0.061	29.5	0.034	1.53
0.75	1.25×10^8	0.074	40.0	0.038	1.39
1.00	2.97×10^8	0.086	49.6	0.040	1.29
1.25	5.81×10^8	0.096	58.6	0.043	1.22
1.50	1.00×10^9	0.106	67.2	0.047	1.17
2.00	2.38×10^9	—	—	—	—
3.00	8.03×10^9	—	240.0	—	2.08

表 B2

冷侧空气速度 u_a m/s	雷诺数 R_e	努谢尔特准数 N_u	对流表面换热系数 h_c $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$
0.5	1 666	—	—
1.0	3 333	6.14	3.19
3.0	10 000	14.00	7.28
5.0	16 667	20.50	10.70
10.0	33 333	34.50	20.00

B3.4 几何尺寸

计量面积的准确度分为装置尺寸的准确度和定义计量面积的准确度。计量面积测量的准确度可高于±0.1%,因此不影响评定计量面积的最终准确度。

测试均质试件时,计量面积应为鼻锥中心线确定的面积或计量箱内边所确定的面积,计量面积的最大误差小于上述两种计算结果的差值。

有时需测量试件的厚度。例如计算均质试件的导热系数时。此时测量本身可准确到±1%或±2%。但是当试件表面不是很平(波状或开槽)时,就难以定义唯一和明确的试件厚度。

B3.5 平行试件的不平衡热流量 Q_2

B3.3 条的例子表明,沿着计量箱鼻锥的局部温度不可能是均匀的,甚至内部和外部的分布轮廓亦不相同。因此,难以测定表面到表面或空气到空气的温度不平衡和选择检测表面到表面温度不平衡的温度传感器位置,传感器离鼻锥太近可能探测到局部表面换热系数不均匀的影响,离鼻锥太远可能检测到其他误差源的(周边热损或侧面迂回热损)影响。

沿试件的传热和鼻锥存在的影响可通过图 B2 中所示的原理模型进行探索。假定鼻锥的一边为均匀的表面换热系数, Q_2 假定与计量箱的周长成比例。脚标 i 和 e 各代表试件的热侧和冷侧, λ 是试件的导热系数。可得到如下式子:

$$Bi_i = h_i d / \lambda \text{ 和 } Bi_e = h_e d / \lambda \quad \dots\dots\dots (B1)$$

$$F_1 = \frac{2}{1 + 2/Bi_i} + \frac{2}{1 + 2/Bi_e} \dots\dots\dots(B2)$$

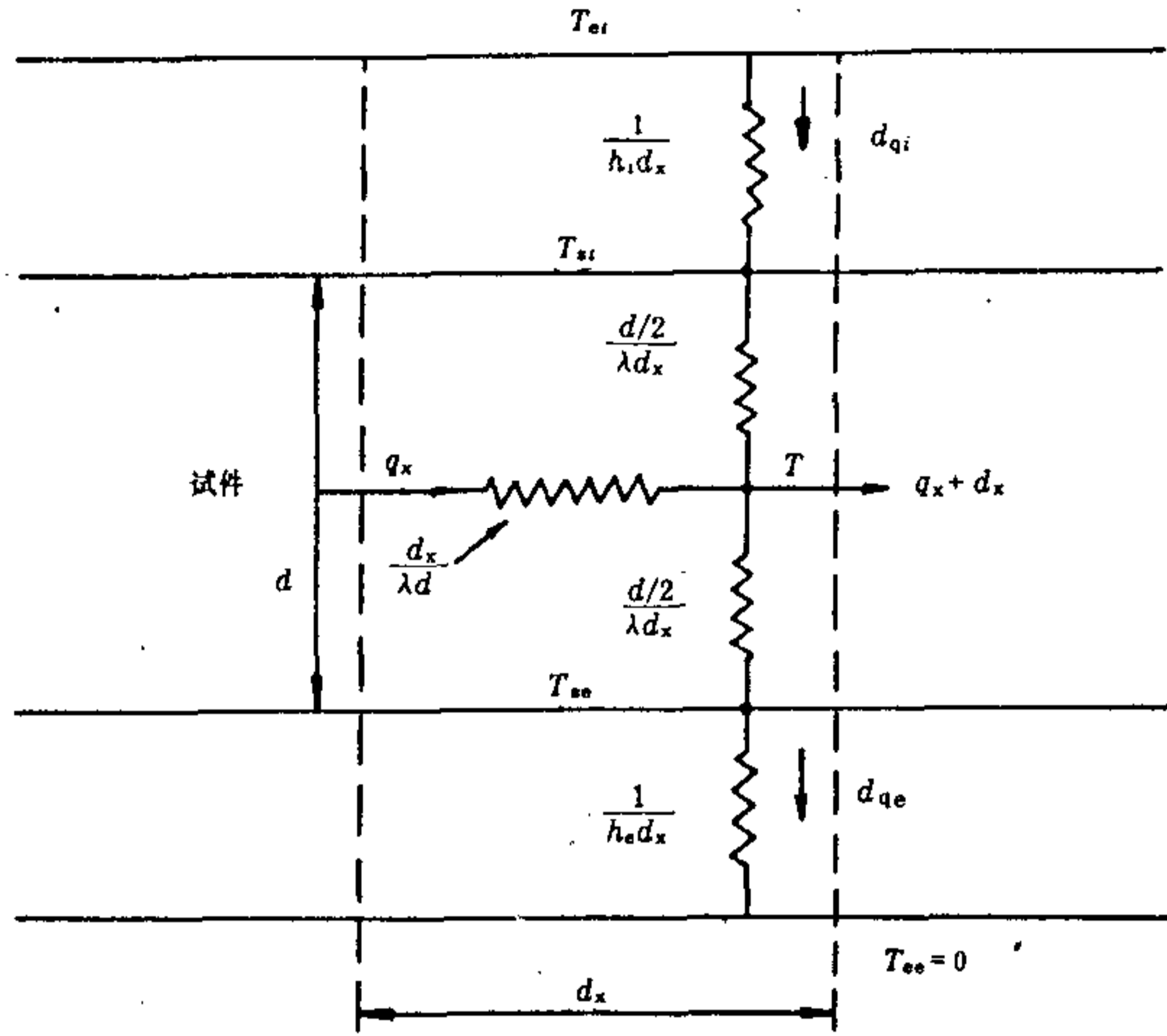


图 B2 热箱中试件的传热模型

$$F_2 = \frac{2}{1 + 2/Bi_i} \times \frac{1}{F_1} \dots\dots\dots(B3)$$

设式中 Bi 为毕奥数, F_1 、 F_2 为函数。计量箱的边界处 X 为 0, 计量箱区域内 X 为“+”, 防护区 X 为“-”, 脚标 m 和 g 分别用于定义计量和防护区域的 F_1 和 F_2 值, 表示为 F_{1m} 、 F_{1g} 、 F_{2m} 、 F_{2g} 。

如果计量区的 X 远大于 d 和防护区的 $-X$ 远大于 d , 且 $F_{1m} \cdot X_m/d$, $F_{1g} \cdot X_g/d$ 都大于 3 (X_m 是计量箱边(长)的一半, X_g 是防护宽度), 设计量箱的周长为 P , 平行试件的热流量 Q_2 可估算为:

$$Q_2 = P \frac{T_{eim} F_{2m} - T_{eig} F_{2g}}{\frac{1}{F_{1m}} + \frac{1}{F_{1g}}} \dots\dots\dots(B4)$$

T_{eim} 、 T_{eig} 分别为计量箱和防护箱内的空气温度。式(B4)考虑了计量区和防护区的温度和表面换热系数的差异, 但假定试件为均质的。

B3.6 计量箱壁热流量 Q_3

经验表明, 很难同时使计量箱每边的热流量都为“0”, 热电堆的输出为“0”只意味着热流量的总和为“0”。

Q_3 受箱子的尺寸影响, 为了使计量箱的表面积减至最小, 只要能容纳下所有必要的设备(如电风扇、加热器等), 它的深度应尽量小。

B3.7 周边热损 Q_5

其原理与防护热板法相同, 定量关系可参考 GB 10294, 但在比较两种装置时应小心, 因为在热箱中, 由装置向试件传热是通过对流(自由或强迫)和辐射, 而在热板中仅通过高导热性能的金属板表面的接触。

B3.8 飘移和噪声

飘移包括仪器的飘移,装置控制器的飘移和室温变化而引起的试件及装置的温度飘移。

短期飘移和波动引起的误差可通过多次顺序测量并取平均值予以消除。

B3.9 湿度影响

湿度影响热品质,严格讲,它不是一个误差源。但要记住,试件中的湿度使热平衡的时间显著加长。测定试件含湿率的不确定性应作为热品质的一个误差源来考虑。

B3.10 实际状态的误差

当测量非均质试件时,除上面所列的误差外,还应考虑试件的非均质性影响。非均质性除造成传热系数和温度的局部不均匀外,还造成热流单向偏离。因此,使定义表面平均温度,估算试件的比热阻,检测通过试件的不平衡,定义计量面积,用测量数据评定误差变得困难或不可能。

当试件为波状或沟槽的表面时,试件为不规则形状或非均质时,表面换热系数是不均匀的,与比热阻相近的平表面试件上测得的表面换热系数不同。

当测试非均质试件或试件安装在辅助墙板中间试验时,正确定义计量面积就变得非常困难,成为主要的误差源。这种情况下试件内可能存在着热流场畸变,导致估算 Q_2 和计量面积的更大不确定性。

现将试件中经常出现的某些非均质性的影响简述如下:

试件中水平铺设的龙骨或类似的非均质性增加了不平衡热流量 Q_2 和侧面迂回热损 Q_4 ,并改变了局部的温度分布。但大多数情况下,它们在计量箱左、右侧的影响是对称的。相反,当龙骨是垂直布置时,顶部和底部的局部表面换热系数通常是不同的,因而引起了附加的温度不平衡;

由其他材料代替试件的一部分引起非均质时,两种材料间形成的温度差是不同和不均匀的。在两种材料交界处存在三维热流,因此局部表面换热系数亦不相同。当交界处不是远离计量箱周边时,温度不均匀性影响不平衡检测和确定计量面积。

因为测试结果受表面换热系数的影响,在解释试验结果时应该小心;

当存在上述非均质性并又带有厚度变化(测试窗户)时,由于两种非均质性的复合使上述问题更为复杂,以至要求专门的测试过程;

高导热系数的表面层容易形成不平衡热流 Q_2 和侧面迂回热损 Q_4 的通路。沿着计量箱周边切开面层可减小 Q_2 。当各层是均质时,可用防护热板法或热流计法单独测量每一层材料;

试件存在空洞时,试件内存在自然对流而造成不可知的不平衡热流量 Q_2 。此时应考虑安装隔壁。

B3.11 总误差

不确定性分析包括各单项不确定性的计算。

误差应分为系统误差和随机误差。随机误差可用通常的方法处理。但上述误差中大部分是系统误差,因此总误差是相加的,然而,全部误差作用在同一方向上的概率是有限的。

正确定义最大或然误差要求复杂的统计分析,但如果不存在一项误差远大于其他误差时,最大或然误差在总误差的 50%~70% 范围内。

附录 C

装置品质检验

(参考件)

C1 电气接连和自动控制

装置中安装一个薄的低比热阻试件,整台装置与温度可准确控制的实验室空气达到热平衡时,所有温度传感器的指示必须接近室温。检查每个温度传感器的干扰电压及所有电气回路的电气绝缘,计算预期加到加热器的最大电压,将此电压加在装置加热器的一根导线和接地点之间(应没有电流过)。如果温

度传感器电气绝缘、接地、屏蔽等均正确,不应观察到干扰电压和电气绝缘数值的变化。由于水分凝结可能影响电气绝缘,当测量含湿试件时,应重复这项检查。

对照控制器的技术规格,检查所有自动控制系统的干扰电压。

C2 温度传感器

使装置工作在预期最大温度不均匀状态。验证局部流速、边界层厚度、边界层温度和流速的分布。要特别小心验证防护热箱装置中的计量箱边界(内部和外部)和试件边界处的所有这些参数。

检查表面温度。

当上述检查全部成功后,验证与边界层厚度有关的测量环境温度传感器的位置。

C3 不平衡误差

用已知热性质的不同试件和人为的一组温度不平衡值进行测定。以验证温度不平衡对测量结果的影响,其中包括通过计量箱壁的热流量 Q_3 (与温度不平衡成正比,与试件无关)和热流量 Q_2 (与试件导热系数和局部表面换热系数有关)。

强烈建议变化计量箱内或防护箱内的表面换热系数以验证误差分析。或验证在确定的测定条件下所要求的准确度。

C4 周边热损

对于防护热箱法,保持装置在恒定温度而人为变化实验室温度若干度,以检查周边热损。此项试验虽然不易做,但可得到环境温度变化对周边热损的影响。如果影响较大,需要在试件周围设立边界系统(电加热的金属板或控制温度的液体循环冷却系统),使其温度接近测量平均温度。

对于标定热箱法,需采用边界系统以检测实验室温度变化对周边热损的影响程度。

C5 标定

C5.1 计量箱壁的标定

标定的目的是根据计量箱壁的热流量 Q_3 修正输入到计量箱的 Q_p 值。

用已知比热阻的均质试件以不同的计量箱壁温度差进行测定。绘出计量箱壁热电堆输出值与 Q_3 的曲线或方程。

当温差为若干度时(通常为试验的极端情况),这个关系可假定为线性关系。

C5.2 侧面迂回热损的标定

用已知比热阻的试件在稳态下试验,得到侧面迂回热损的标定系数。当侧面迂回热损与试件厚度的关系为非线性时,标定的试件厚度应包括测量时预期使用的厚度范围。如果试件单位厚度的比热阻值变化很大,标定过程在预期使用的 R 与 d 的比值范围内重复进行。

侧面迂回热损与热、冷侧的温度差及装置与所置房间的温度差有关,装置的标定应在预期使用的温度范围内进行。

C6 线性试验

装置通过上述全部试验后,准备一个由稳定的均质材料且导热系数是温度线性函数的试件(试件的两侧面上镶贴不透气及防止湿迁移的面层),然后测量试件在同一平均温度但不同温差(如 10, 20 和 40 K)时的导热系数,其结果必须与温差无关,如有可能,在另一平均温度下重复此试验。

C7 性能验证

完成上述检验后,至少用两个热性质稳定的材料制作的试件(高密度矿物棉板或老化的泡沫塑料),

在装置的工作范围内典型的一个(最好两个)平均温度上进行测量。这些材料的导热系数应先经国家认可的实验室测定。应仔细研究测量结果的差异以确定其原因和如何消除,并采取相应的措施。只有成功地对比后,才能用该装置鉴定材料的热性质。

建议定期复查。

附录 D

装置设计

(参考件)

D1 要求的品质

设计防护热箱或标定热箱装置时,必须对下列参数作出决定:

- a. 所测试件的最大厚度和最小厚度;
- b. 最小和最大的试件比热阻;
- c. 测量时要求的最大和最小表面换热系数;
- d. 试件两侧的最小和最大温差;
- e. 试件中预期有规则的非均质性的尺寸;
- f. 冷侧最低温度;
- g. 热侧最高温度;
- h. 在最不利情况下,装置的总准确度;
- i. 对热、冷侧湿度控制的要求;
- j. 框架中所装试件的最大重量。

D2 试探性地选择装置的尺寸

如果预期要测量有规律的非均质试件时,装置的尺寸应尽可能是非均质性尺寸的整倍数。

首先试探性地取试件尺寸大于被测试件最大厚度的 8 倍,计量箱尺寸为试件最大厚度的 4 倍。然后,对防护热箱装置通过估算周边热损 Q_3 和不平衡热流量 Q_2 。对标定热箱装置通过估算侧面迂回热损 Q_4 ,检验这些尺寸。参考附录 C。

D3 表面换热系数

总的表面换热系数包括辐射和对流传热系数两部分。对于中等数值的表面换热系数,建议以辐射为主。

如果试件的一边为自由对流,用表 B1 和有关公式计算局部换热系数,然后检查温度的均匀性,应在最小和最大允许的试件比热阻及最小和最大的温差情况下重复计算。导流屏表面与试件的距离应为边界层厚度的几倍。

强迫对流时,应先设定空气的质量流量,选择不同的空气流速和导流屏到试件表面距离。使质量流量和雷诺数均满足要求。

强烈建议工作在以试件表面到导流屏的距离 δ 计算的雷诺数 Re_δ 大于 10 000 的紊流状态。如果空气流速低于 1 m/s,自然对流可能部分地与强迫对流重叠。此时应细致地分析边界层。

由此确定试件与导流屏间的最小和最大距离,最小和最大的空气流速及空气质量流量。

D4 温度均匀性

用最小的表面换热系数、最小的试件比热阻、最小温差和最大质量流量及流速,验算温度均匀性。亦

应验证某些典型情况。

验算是否可能出现层流向紊流过渡的可能性,因为这会造成几乎不可预测的波动。装置应避免工作在不充分扩展的紊流或层流状态。当试件与导流屏间的流速和屏后的流速不是相差很远时,将获得最好的结果(边界层流速分布没有大的变化)。

D5 周边热损

标定热箱装置中,解决周边热损的办法是控制试件边缘温度或采用试件边缘绝热使试件边缘温度接近试件的平均温度。

估算实验室温度变化对周边热损的影响,并确定实验室温度稳定性。

对于防护热箱装置,用 GB 10294 中的有关公式,检验以最小温差测量最大厚度和最大比热阻的试件时,保护是否足够。

D6 不平衡误差

对防护热箱装置,首先验证表面换热系数不均匀性的影响。如果计量箱边界处试件的表面温度不平衡超过允许范围,为达到要求的表面换热系数,应修改设计,如仍不满足,则用较高的表面换热系数(反射性表面改为辐射性表面或由自然对流改为强迫对流或两者同时采用)。

计算在试件内侧温差最小、试件比热阻和厚度最大时的表面温度的不平衡。应同时计算相应于最大允许不平衡误差所允许的最大温度不平衡值。这个数值应大于前一步计算的接近计量箱边界处的温度不平衡值。如果小于计算的不平衡值,应修改表面换热系数、装置尺寸、试件两侧的温度,然后重新开始设计。

D7 装置的详细设计

应该根据通过箱壁的最大允许热流量 Q_3 , 计量箱内、外部最大温差,以及预计的最大温度波动和不均匀性设计防护热箱装置和标定热箱装置的计量箱壁。

当采用强迫对流时,应保证整个试件宽度上流速均匀。

加热和冷却设备的布置应使它周围存在紊流,让空气温度迅速混合均匀。

为计算环境温度,必须检查所有装置的表面温度,应小心使加热器或冷却器不在装置的表面上产生热或冷点。

确定温度传感器的数量和位置。自然对流时,测定空气温度的温度传感器应在边界层之外,强迫对流时,应能检测绝热混合温度(容积温度)。

应确定最大和最小加热和冷却功率。当测试高比热阻试件和采用强迫通风时,热侧风扇的功率可能超过通过试件的热流量 Q_1 ,为此需添加冷却装置,热侧露点温度有特殊要求时,热侧也可能要用冷却装置。

根据温度不平衡和温度稳定性的分析以及考虑在最小温差时要求的稳定性,确定飘移和长期稳定性,选择控制系统。

电气干扰噪声和长期稳定性引入的误差应是可忽略的,即应远小于允许的空气质量波动和不均匀性。

如果采用试件周边温度控制系统,应确定其控制方法。

验算在最不利条件下的总误差是否满足设计要求。

附加说明：

本标准由国家建筑材料工业局提出。

本标准由河南建筑材料研究设计院技术归口。

本标准由国家建筑材料局苏州混凝土水泥制品研究院及河南建筑材料研究设计院负责起草。

本标准主要起草人刘成昌、曹声韶、王吉林、陈爱珠、陈惠余。

(京)新登字 023 号

GB/T 13475—92

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
建筑构件稳态热传递性质的测定
标定和防护热箱法
GB/T 13475—92

*

中国标准出版社出版
(北京复外三里河)
中国标准出版社北京印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 $1\frac{1}{2}$ 字数 41 000
1992 年 11 月第一版 1992 年 11 月第一次印刷
印数 1—3 000

*

书号: 155066·1-9038

*

标 目 199—17