

中华人民共和国国家标准

绝热材料稳态热阻及有关特性的测定
防护热板法

GB 10294—88

Thermal insulation—Determination of steady-
state thermal resistance and related
properties—Guarded hot plate apparatus

本标准等效采用国际标准ISO/DIS 8302《绝热——测定稳态热阻和有关特性——防护热板装置》。

试件的热性质可能受材料性能和成分的可变性、含湿率、时间、平均温度、温差和经历的热状态等因素而变化。因此不应将测定值不加修改地应用于所有使用情况。

代表材料的热性质需要有足够数量的测定数据，只有样品能代表材料、试件又能代表样品时，才能用一个试件的测量结果来确定材料的热性质。

测定结果的准确度与装置的设计、所用测量仪表以及试件类型有关。符合本标准的装置，当测定的平均温度接近室温时，测量热性质能够准确到 $\pm 2\%$ 。与其他类似装置进行大量的测量校对后，一套装置在全部测定范围内，任何情况都应得到大约 $\pm 5\%$ 的准确度。

保持在装置内的试件，不改变测定条件重复测定的重复性通常远优于 1% 。参比试件重新安装后测定的重复性一般优于 1% 。这是鉴别测定方法的误差所需要的。

第一篇 概 述

1 主题内容与适用范围

本标准规定了使用防护热板装置测定板状试件稳态热性质的方法和对装置的要求。

本方法只适用于测定干燥试件，试件的热阻应大于 $0.1\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ，试件的热阻可以低到 $0.02\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ，但不能在全部范围内得到前述的准确度和重复性。

本方法适用于测定匀质材料，非匀质材料应按附录A（补充件）估测本方法的适用性。

本方法的测定结果为在给定平均温度和温差下试件的热阻。

如试件为热匀质体且在任何平均温度下试件的热阻与温差无关，则测定结果可表达为给定平均温度下试件的可测导热系数。

除满足上述条件外，且试件能代表整体材料、试件的厚度大于可确定材料导热系数的试件最小厚度时，测定结果可表达为被测材料的导热系数。如不知道可确定材料导热系数的最小厚度，可按附录B（补充件）测定。

2 引用标准

GB 4132 绝热材料名词术语

3 术语、定义和符号

3.1 本标准下列术语定义按GB 4132：

a. 热流量 Q ， W ；

- b. 热流密度 q , W/m^2 ;
- c. 热阻 R , $m^2 \cdot K/W$;
- d. 热导率 C_λ , $W/(m^2 \cdot K)$;
- e. 导热系数 λ , $W/(m \cdot K)$;
- f. 匀质材料;
- g. 孔隙率 ξ , %;
- h. 各向同性体。

3.2 本标准中其他术语的定义如下:

- a. 热阻系数 r ($m \cdot K/W$) 为 $grad$, $T = -r\vec{q}$ 定义的值。
- b. 多孔体: 由明显区分为固相和空隙组成的非匀质介质。
- c. 匀质多孔体: 局部空隙率与计算体积的部位无关的介质。
- d. 热稳定体: 物体的导热系数 λ 或 $[\lambda]$ 不是时间的函数, 但可以是物体中位置、方向和温度的函数。
- e. 防护热板组: 包括加热单元、冷却单元、试件和防护单元组装好的防护热板装置。其构造如图1所示。
- f. 环境温度: 试件边缘温度或整个防护热板组件的边缘温度。封闭装置为箱内温度, 不封闭的为实验室温度。

4 原理

在稳态条件下, 防护热板装置的中心计量区域内, 在具有平行表面的均匀板状试件中, 建立类似于以两个平行匀温平板为界的无限大平板中存在的一维恒定热流。

为保证中心计量单元建立一维热流和准确测量热流密度, 加热单元应分为在中心的计量单元和由隔缝分开的环绕计量单元的防护单元。并且需有足够的边缘绝热或(和)外防护套, 特别是在远高于或低于室温下运行的装置, 必须设置外防护套。

通过测定稳定状态下流过计量单元的一维恒定热流量 Q 、计量单元的面积 A 、试件冷、热表面的温度差 ΔT , 可计算出试件的热阻 R ($R = \frac{\Delta T \cdot A}{Q}$) 或热导率 C_λ ($C_\lambda = \frac{1}{R}$)。

第二篇 装 置

根据原理可建造两种型式的防护热板装置——双试件式和单试件式。双试件式装置中, 在两个几乎相同的试件中夹一个加热单元, 试件的外侧各设置一个冷却单元。热流由加热单元分别经两侧试件传给两侧的冷却单元(图1a)。单试件式装置中加热单元的一侧用绝热材料和背防护单元代替试件和冷却单元(图1b)。绝热材料的两表面应控制温差为零, 无热流通过。

为便于实验室之间比较, 推荐装置的标准尺寸系列如下:

- a. 直径(或边长)为0.3m;
- b. 直径(或边长)为0.5m;
- c. 直径(或边长)为0.2m(仅用于测定匀质材料);
- d. 直径(或边长)为1.0m(用于测定厚试件)。

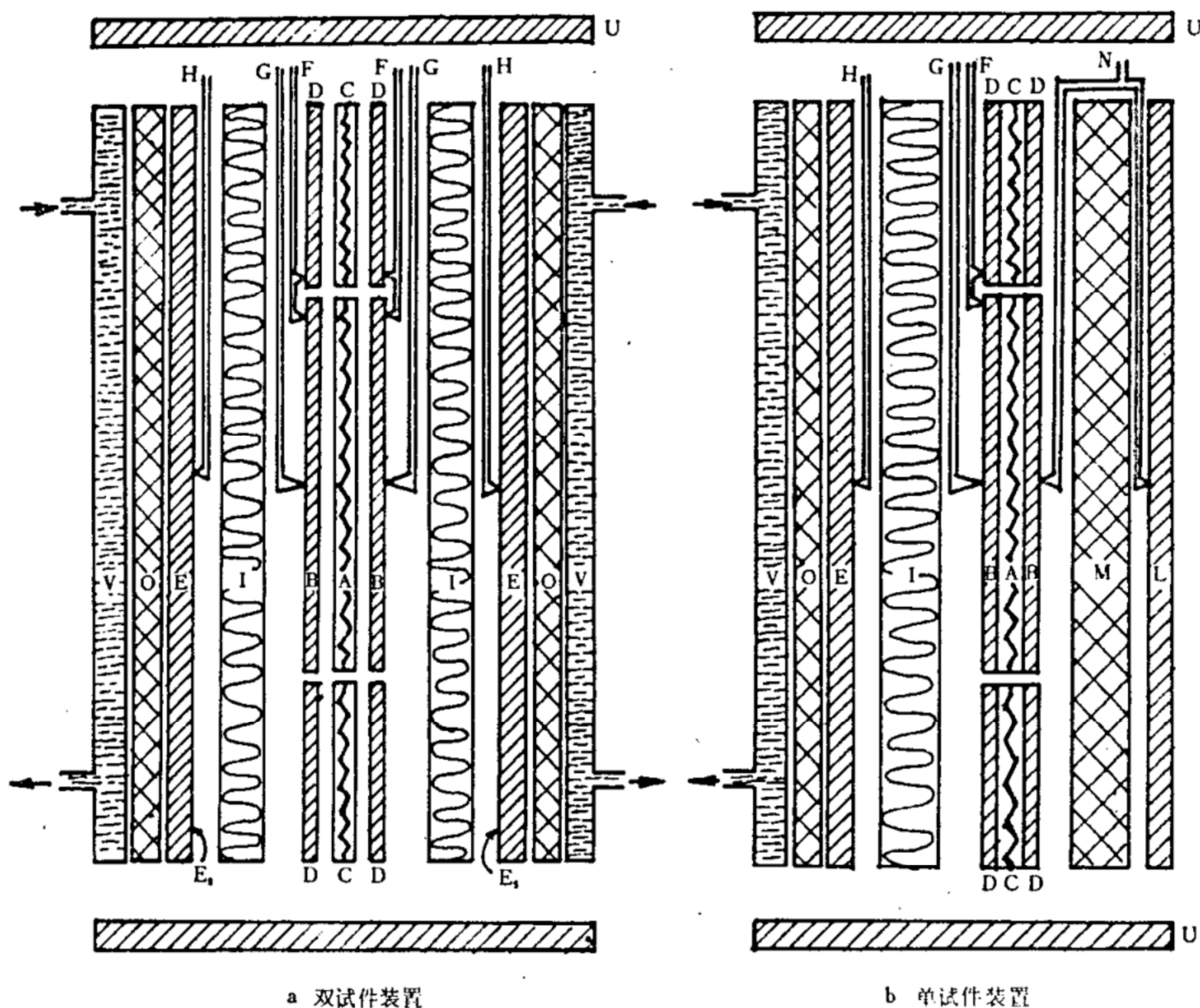


图 1 防护热板装置一般特点

- 加热单元 { 计量单元 { A—计量加热器
B—计量面板
防护单元 { C—防护加热器
D—防护面板
- 冷却单元 { E—冷面加热器
Es—冷却单元面板
O—绝热层
V—冷却水套
- U—外防护套
- 背防护单元 { L—背防护加热器
M—绝热层
- I—被测试件
- F—平衡检测温差热电偶
- G—加热单元表面测温热电偶
- H—冷却单元表面测温热电偶
- N—背防护单元温差热电偶

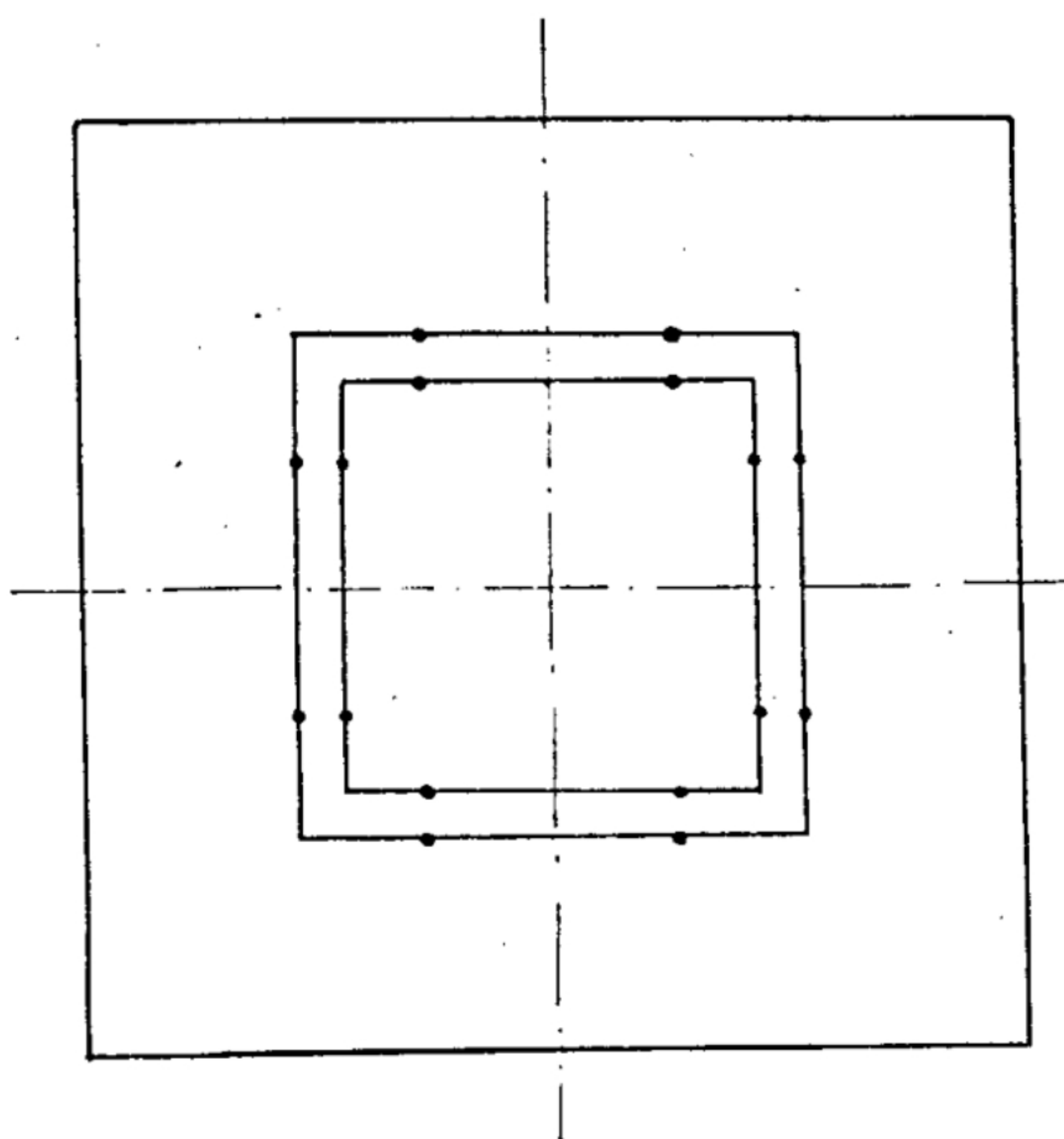
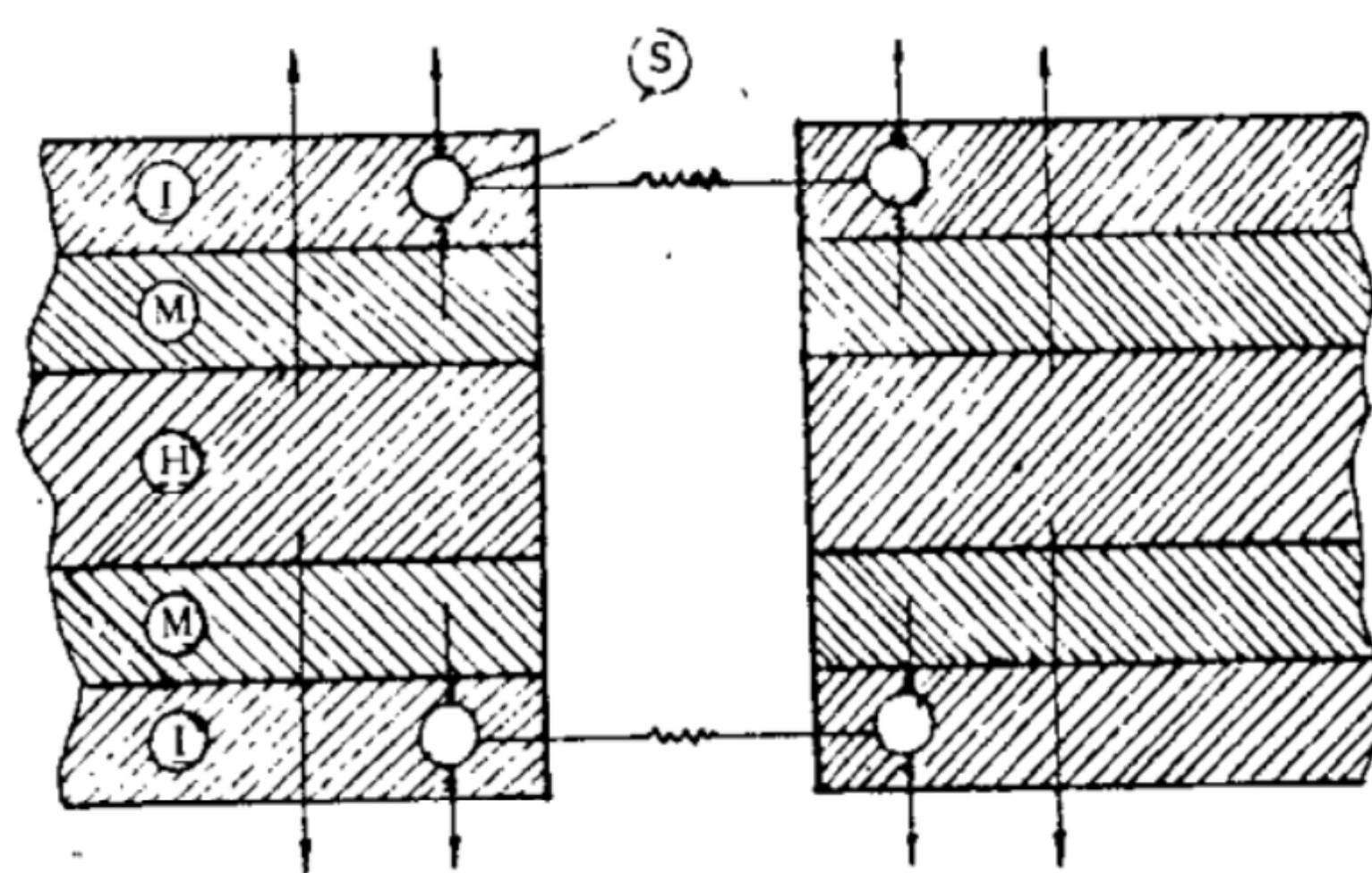
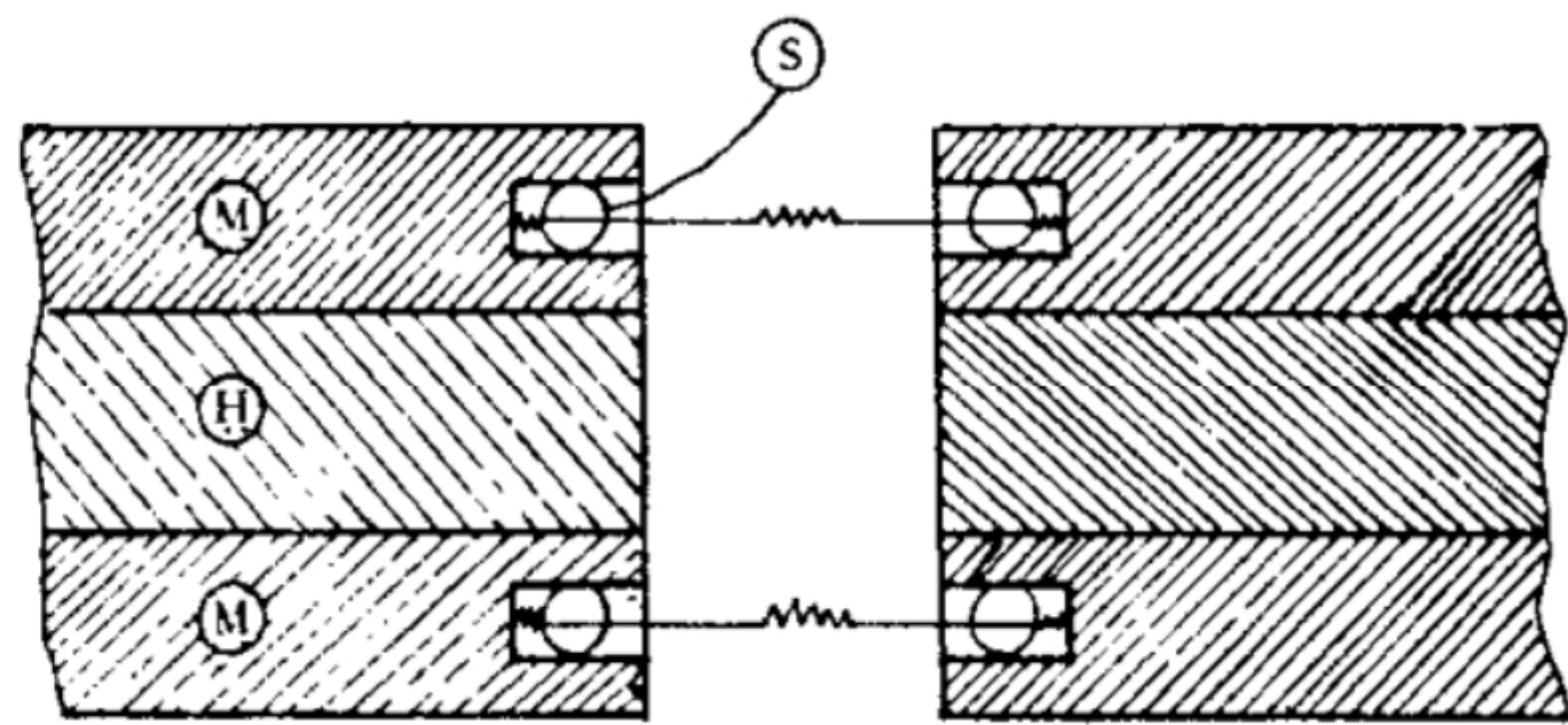


图 3 推荐的不平衡传感器位置

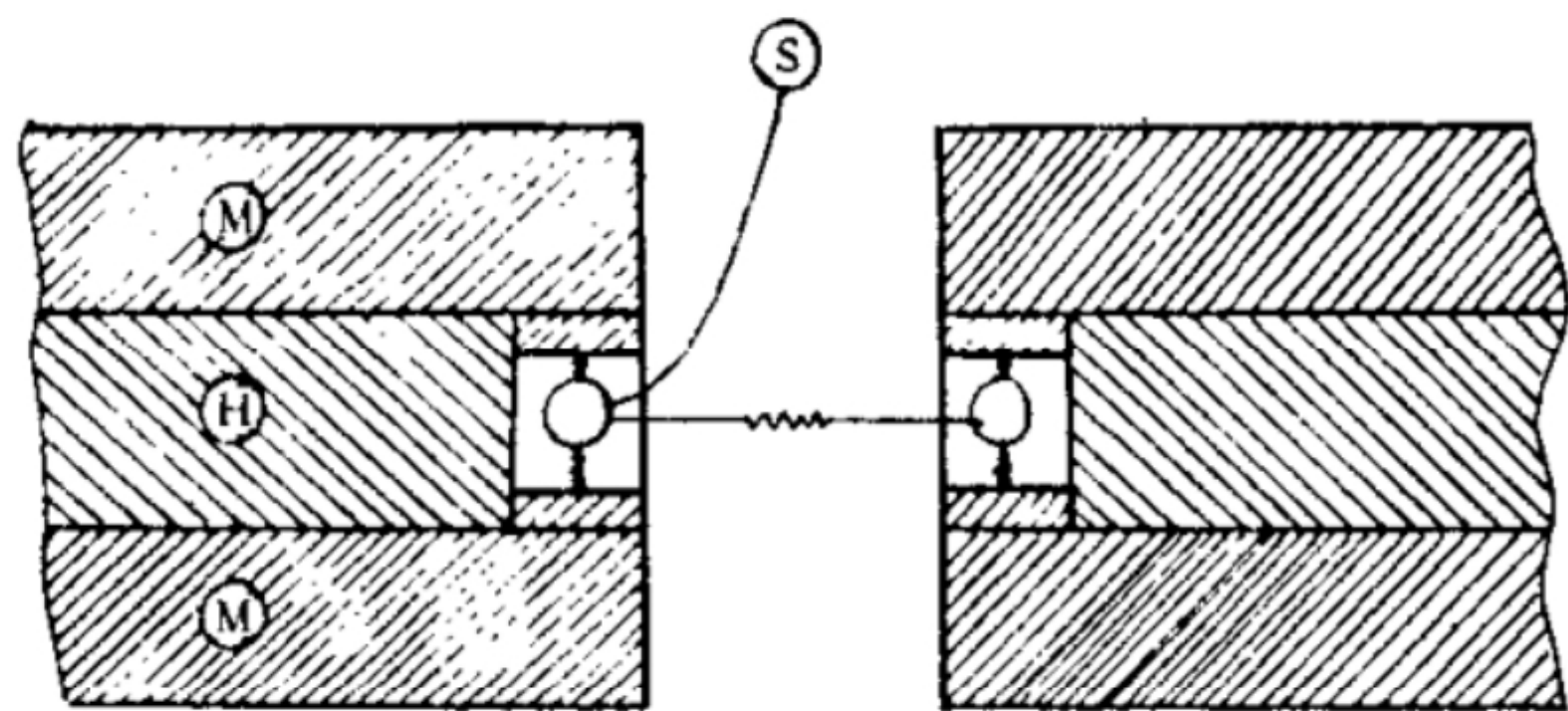


a 热流通过温度传感器安装热阻

图 4 传感器和有关热阻示意图



b 热流不通过温度传感器安装热阻



c 热流不通过温度传感器安装热阻

续图 4

I 一沟槽内或由于支承片产生的隔热层；H—加热器；
M—加热单元金属面板；S 一不平衡传感器

5.2 冷却单元

冷却单元表面尺寸至少应与加热单元的尺寸相同。冷却单元可以是连续的平板，但最好与加热单元类似。它应维持在恒定的低于加热单元的温度。板面的温度不均匀性应小于试件温差的 2 %。可采用金属板中通过恒温的流体或冷面电加热器和插入电加热器与冷却器之间的绝热材料组成。或者两种方法结合起来使用。

冷却单元与试件相接触的表面的平面度应优于 0.025 %，并且处理使其总半球辐射率大于 0.8。

5.3 边缘绝热和边缘热损失

加热单元和试件的边缘绝热不良是试件中热流场偏离一维热流场的根源。此外，加热单元和试件边缘上的热损失会在防护单元的面板内引起侧向温度梯度，因而产生附加的热流场歪曲。应采用边缘绝热、控制周围环境温度、增加外防护套或线性温度梯度的防护套，或者这些方法结合使用以限制边缘热损失（见图 5）。

加热单元边缘热损失的一个重要途径是沿加热器和温度传感器的导线散热。需要在加热单元附近提供一个相同温度的等温表面。所有导线应可靠地固定在这个表面上。限制流经导线的热流不超过理想一维条件下穿过试件热流的 10 %。

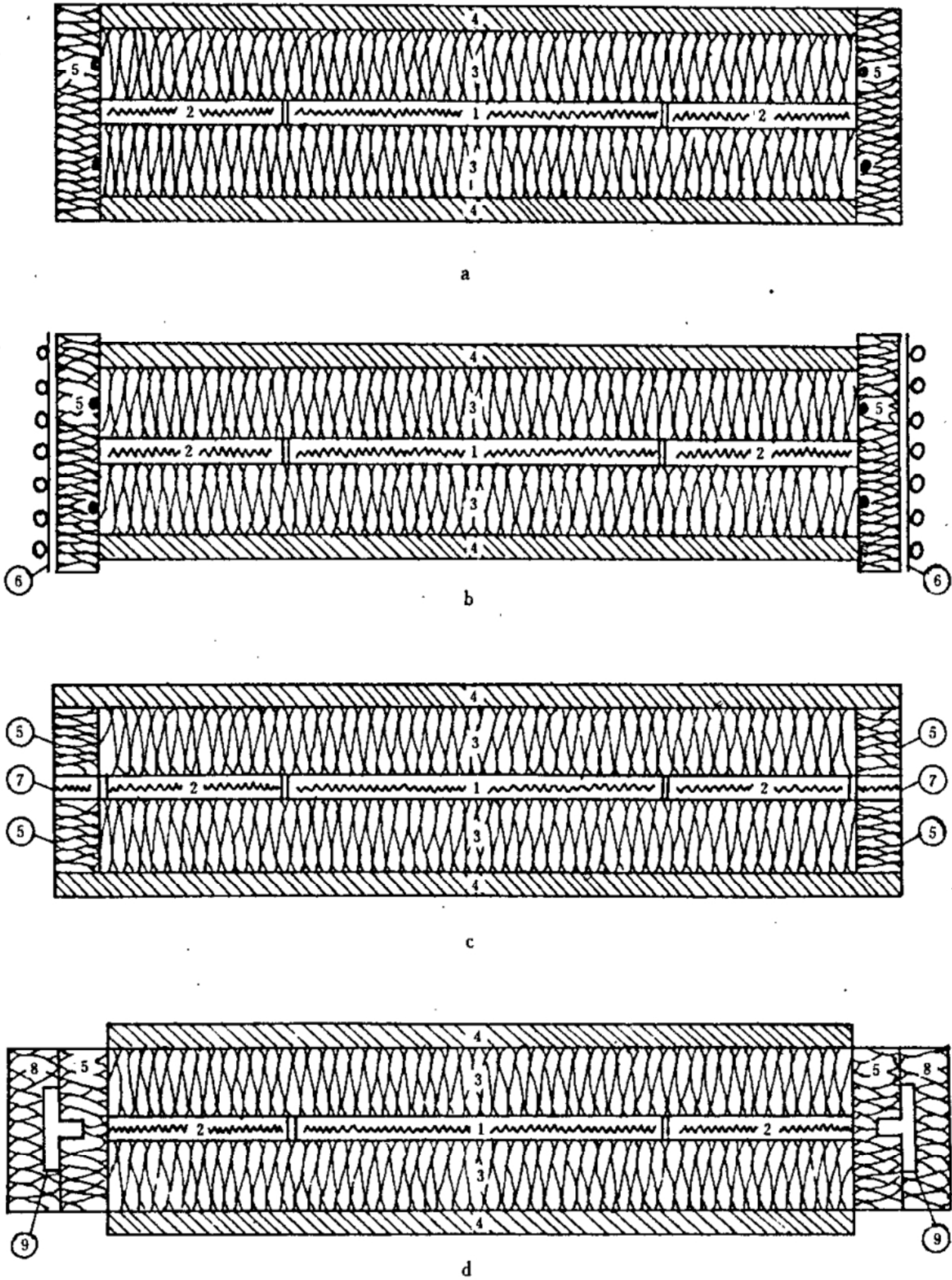


图 5 可限制边缘热损失的结构型式的示意图
 1—热板计量单元；2—热板防护单元；3—试件；4—冷却单元；5—边缘绝热（点是温度传感器）；6—外部匀温防护套或外部温度梯度防护套；7—外防护单元；8—外部防护绝热；9—外部T形防护套

5.4 背防护单元

单试件式装置中背防护单元由加热器和面板组成。背防护单元面向加热单元的表面的温度应与所对应的加热单元表面的温度相等。防止任何热流流过插入其间的绝热材料。绝热材料的厚度应限制，防止因侧向热损失在加热单元的计量单元中引起附加的热流造成误差。因防护单元表面与加热单元表面温度不平衡以及绝热材料侧向热损失引起的测量误差应小于 $\pm 0.5\%$ 。

5.5 测量仪表

5.5.1 温度测量仪表

5.5.1.1 温度不平衡检测：测量温度不平衡的传感器常用直径小于0.3mm的热电偶组成的热电堆。检测系统的灵敏度应保证因隔缝温度不平衡引起的热性质测定误差不大于 $\pm 0.5\%$ 。

5.5.1.2 装置内的温度：任何能够保证测量加热和冷却单元面板间温度差的准确度达 $\pm 1\%$ 的方法都可用以测量面板的温度。表面温度常用永久性埋设在面板沟槽内或放在与试件接触表面下的温度传感器（热电偶）来测量。

在计量单元面板上设置的温度传感器的数量应大于 $10\sqrt{A}$ 或2（取大者）。 A 为计量单元的面积，以平方米计。推荐将一个传感器设置在计量面积的中心。冷却单元面板上设置温度传感器的数量与计量单元的相同，位置与计量单元相对应。

5.5.1.3 试件的温差：由于试件与装置的面板之间的接触热阻影响，试件的温差用不同的方法确定。

a. 表面平整、热阻大于 $0.5\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 的非刚性试件，温差由永久性埋设在加热和冷却单元面板内的温度传感器（通常为热电偶）测量。

b. 刚性试件则用适当的匀质的薄片插入试件与面板之间。由薄片-刚性试件-薄片组成的复合试件的热阻由方法5.5.1.3a确定。薄片的热阻不应大于试件热阻的十分之一，并应在与测定时相同的平均温度、相同厚度和压力下单独测量薄片的热阻。总热阻与薄片热阻之差为刚性试件的热阻。

c. 直接测量刚性试件表面温度的方法是在试件表面或在试件表面的沟槽内装设热电偶。这种方法应使用很细的热电偶或薄片型热电偶。热电偶的数量应满足5.5.1.2要求。此时试件的厚度应为垂直试件表面方向（热流方向）上热电偶的中心距离。

比较5.5.1.3b和5.5.1.3c两种方法得到的结果，有助于减小测量误差。

5.5.1.4 温度传感器的型式和安装：安装在金属面板内的热电偶，其直径应小于0.6mm，较小尺寸的装置，宜用直径不大于0.2mm的热电偶。低热阻试件表面的热电偶宜埋入试件表面内，否则必须用直径更细的热电偶。

所有热电偶必须用标定过的热偶线材制作，线材应满足附录F中专用级要求。如不满足，应对每支热电偶单独标定后筛选。

因温度传感器周围热流的扭曲、传感器的漂移和其他特性引起的温差测定误差应小于 $\pm 1\%$ 。使用其他温度传感器时，亦应满足上述要求。

5.5.2 厚度测量

测量试件厚度的准确度应优于 $\pm 0.5\%$ 。

由于热膨胀和板的压力，试件的厚度可能变化。建议在装置里、在实际的测定温度和压力下测量试件厚度。

5.5.3 电气测量系统

温度和温差测量仪表的灵敏度和准确度应不低于温差的 $\pm 0.2\%$ 。加热器功率测量的误差应小于 $\pm 0.1\%$ 。

5.6 夹紧力

应配备可施加恒定压紧力的装置，以改善试件与板的热接触或在板间保持一个准确的间距。可采用恒力弹簧、杠杆静重系统等方法。测定绝热材料时，施加的压力一般不大于 2.5 kPa 。测定可压缩的试件时，冷板的角（或边）与防护单元的角（或边）之间需垫入小截面的低导热系数的支柱以限制试件的压缩。

5.7 围护

当冷却单元的温度低于室温或平均温度显著高于室温时，防护热板装置应该放入封闭容器中，以便控制箱内环境温度。当冷却单元的温度低于室温时，常设置致冷器控制箱内空气的露点。防止冷却单元表面结露。如需要在不同气体中测定，应具备控制气体及其压力的方法。

注：建议装置的设计者仔细阅读附录C（补充件）和附录E（参考件）。

6 装置的性能校核

新的或改进过的防护热板装置，必须进行下列各项校核后才能投入使用。

6.1 平面度

工作表面的平面度用四棱尺或金属直尺和塞规检查，尺的长度应大于工作表面的宽度或直径。如表面平面度小于 $30\text{ }\mu\text{m}$ 时，将尺的棱线紧靠被测表面，在尺的背面用光线照射棱线进行观察。

6.2 电器连接和自动控制器

a. 用薄的、低热阻试件装入装置内，并让整个装置在室温中与实验室空气热平衡。所有温度传感器指示的温度应很接近室温，并检查各温度传感器的干扰。

b. 用绝缘测定器检查所有电气线路的绝缘。在加热单元的金属面板与计量单元或防护单元加热器的一条引线之间，加上加热单元加热器预期的最大工作电压（应无电流流过）。如果接地、屏蔽、温度传感器的电气绝缘正常，则读数不应改变，在装置工作温度的两端重复上述检查。

c. 检查不平衡检测仪表和所有自动控制器的噪声电压及漂移。

6.3 温度测量系统

把装有试件的防护热板组件密封于空调的箱体内部，调节冷却单元的温度为其使用范围内某一适当值上。控制箱体内部的环境温度为同一温度值。不向加热单元的计量加热器和防护加热器施加电功率。此时加热单元的温度必须与冷却单元温度一致，差异应在测量系统的噪声范围内。此外，防护单元温度与计量单元温度不平衡亦应在不平衡检测仪表的噪声范围内。

6.4 不平衡误差

分别用装置预期测定的最大厚度和常用厚度的试件，按照附录C（补充件）中C1.1条方法测定其不平衡误差，以确定装置最大的和一般情况的不平衡误差。

6.5 边缘热损失

当试件的厚度和热阻为最大，而试件的温差为最小时，边缘热损失最大。检查时放入厚度和热阻接近最大设计值的试件，以设计的最小温差进行测定。测量防护单元的输入功率，它不应比理想一维条件下防护单元流过试件的热流所需的功率相差太多。然后改变环境温度，观察防护单元加热器的功率和测定结果的变化。这项测定有助于确定环境温度的允许变化范围。

当不可能改变环境温度时，确定边缘绝热或防护是否满足要求的实用方法是：用焊在薄金属片上的热电偶测量试件边缘中心的温度 T_e 。（ $T_e - T_m$ ）/ ΔT 值应小于0.1，此处 T_m 是试件的平均温度， ΔT 是试件的温差。要得到高的测定准确度时，此值应小于0.02。

6.6 线性测定

装置满足6.3条、6.4条和6.5条检查的要求后，装入由热稳定的并且导热系数与温度成线性关系的材料制作的试件。以不同的温差如10K、20K和40K测量导热系数，其结果应与温差无关。以不同的平均温度重复这种检查。

6.7 综合性能检查

所有上述检查满足后，至少应对两套曾在国家认可的实验室标定过的，已知热稳定的材料进行测定。每套试件应在运行的温度范围内两个典型的平均温度下进行测定。所有测定宜在标定的90天内进行。只有在成功地对比之后，才能签发遵照本标准进行测定的报告。

不再需要进一步的校核。但建议进行定期的检查。

第三篇 测 定

7 试件

7.1 选择和尺寸

根据装置的形式从每个样品中选取一或两个试件。当需要两块试件时，它们应该尽可能地一样，厚度差别应小于2%。试件的尺寸应该完全覆盖加热单元的表面。试件的厚度应是实际使用的厚度或大于能给出被测材料热性质的最小厚度。试件厚度应限制在不平衡热损失和边缘热损失误差之和小于±0.5%〔见附录C（补充件）〕。

7.2 制备和状态调节

试件的制备和状态调节应按照被测材料的产品标准进行。无标准时按下述方法：

7.2.1 制备

试件的表面应用适当方法加工平整，使试件与面板能紧密接触。刚性试件表面应制作得与面板一样平整（见5.1.1），并且整个表面的不平行度应在试件厚度的±2%以内，刚性试件且热阻小于 $0.1\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ，则应按5.5.1.3b或5.5.1.3c的方法测量试件温差。

某些实验室将高热导率试件（尤其是各向异性材料）加工成与所用装置计量单元、防护单元尺寸相同的中心和环形两部分或将试件制成与中心计量单元尺寸相同，而隔缝和防护单元部分用合适的绝热材料代替。这些技术的理论误差应另行分析，上述情况下，计算中所用的计量面积 A 应为：

$$A = A_m + A_g \times \frac{1}{2} \times \frac{\lambda_g}{\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

式中： A_m ——计量部分面积；

A_g ——隔缝面积；

λ ——试件的导热系数；

λ_g ——面对隔缝部分材料的导热系数。

由膨胀系数大而质地硬的材料制作的试件，在承受温度梯度时会极度翘曲。这会引起附加热阻、产生误差或毁坏测定装置。测定这类材料需要特别设计的装置。

7.2.2 状态调节

测定试件质量后，必须把试件放在干燥器或通风烘箱里，以对材料适宜的温度（或材料产品标准中规定的温度）将试件调节到恒定的质量。热敏感材料不应暴露在会改变试件性质的温度下，当试件在给定的温度范围内使用时，应在这个温度范围的上限、空气流动并控制的环境下调节到恒定的质量。

当测量传热性质所需时间比试件从实验室空气中吸收显著水分所需的时间短时（如混凝土试件），建议在干燥结束时，很快将试件放入装置中以避免吸收水分。反之（例如低密度的纤维绝热材料或泡沫塑料试件），建议把试件留在标准的实验室空气（ $293 \pm 1\text{K}$ ； $50\% \pm 10\%\text{RH}$ ）中继续调节，直至与室内空气平衡（恒定质量）。中间情况（如高密度纤维材料）对试件的调节过程按操作者的经验确定。

为防止测定过程中水汽渗入（逸出）试件，可将试件封闭在防水汽的封套中。如果封套的热阻不可忽略，封套的热阻必须单独测量。

注：松散材料的试件制备见附录D（补充件）。

8 测定过程

8.1 测量质量

测定试件质量准确到±0.5%，称量后立即将试件放入装置中测定。

8.2 测量厚度和密度

试件在测定状态的厚度由加热单元和冷却单元位置确定或在测定时测得的试件厚度。

试件厚度可以按5.5.2中所述的方法测量，或在装置之外用能够重现测定时试件上所受压力的工具测得。从这些数据按8.1条确定的处理过的试件质量，可算出试件在测定状态的密度。有些材料（例如低密度纤维材料）测量以计量面积为界的那部分试件的密度可能更精确些，这样可得到较正确的热性质与密度之间的关系。

8.3 温差选择

传热过程与试件的温差有关，应按照测定目的选择温差：

- 按照材料产品标准中要求；
- 按被测定试件或样品的使用条件；
- 确定温度与热性质之间的关系时，温差尽可能小（5～10K）；
- 当要求试件内的传质减到最小时，按测定温差所需的准确度选择最低的温差。

8.4 环境条件

8.4.1 空气中测定

调节环绕防护热板组件的空气中的相对湿度，使其露点温度至少比冷却单元温度低5K。

当把试件封入气密性封袋内避免试件吸湿时，封袋与试件冷面接触的部分不应出现凝结水。

8.4.2 在其他气体或真空中测定

如在低温下测定，装有试件的装置应该在冷却之前用干气体吹除空气。温度在77～230K之间时，用干气体作为充填气体，并将装置放入一密封箱中。冷却单元温度低于125K时使用氮气，应小心调节氮气压力以避免凝结。温度在21～77K之间时，通常用氦气，有时使用氢气。注意！氢气是高度易燃气体，必须由有资格的人员操作。

当需要测定试件在真空中的热性质时，在冷却之前应先把系统抽真空。

8.5 热流量的测定

测量施加于计量面积的平均电功率，精确到±0.2%。

输入功率的随机波动、变动引起的热板表面温度波动或变动，应小于热板和冷板间温差的±0.3%。

调节并维持防护部分的输入功率（最好用自动控制），以得到合乎5.5.1.1所要求的计量单元与防护单元之间的温度不平衡程度。

8.6 冷面控制

当使用双试件装置时，调节冷却面板温度使两个试件的温差相同（差异小于±2%）。

8.7 温差检测

测量加热面板和冷却面板的温度或试件表面温度、以及计量与防护部分的温度不平衡程度。由5.5.1.3所述的方法之一确定试件的温差。

8.8 过渡时间和测量间隔

为得到热性质的准确值，装置和试件必须有充分的热平衡时间。热平衡时间与装置的构造、控制方式、几何尺寸以及试件的热性质和厚度有关。在不可能较精确的估计过渡时间的场合，或者没有在同一装置里、在同样测定条件下测定类似试件的经验时，按式（2）计算时间间隔 Δt ：

$$\Delta t = (\rho_p \cdot c_p \cdot d_p + \rho_s \cdot c_s \cdot d_s) R \dots \dots \dots (2)$$

式中： ρ_p, ρ_s —— 加热面板材料和试件的密度，kg/m³；

c_p, c_s —— 加热面板材料和试件的比热，J/kg；

d_p, d_s —— 加热面板和试件的厚度，m；

R —— 试件的热阻，m²·K/W。

等于或大于 Δt 的时间间隔按8.5条和8.7条规定读取数据，直到连续四组读数给出的热阻值的差别不超过±1%，并且不是单调地朝一个方向改变时结束。当试件内部有传质现象时，测定至少持续24h。

当温度为自动控制时，记录温差和（或）施加在计量加热器上的电压或电流有助于检查是否达到

稳态条件。

8.9 最终质量和厚度测量

所述的测读完成以后, 测量试件的最终质量和厚度。

9 计算

9.1 密度和质量变化

9.1.1 密度

按下列公式计算测定时试件的密度 ρ_d 和(或) ρ_s :

$$\rho_d = m_2 / V \dots\dots\dots (3)$$

$$\rho_s = m_3 / V \dots\dots\dots (4)$$

式中: ρ_d ——测定时干试件的密度, kg/m^3 ;

ρ_s ——经过更复杂的调节过程后的试件的密度, kg/m^3 ;

m_2 ——干燥后试件的质量, kg ;

m_3 ——更复杂调节过程后的试件质量, kg ;

V ——干燥或调节后试件所占体积, m^3 。

9.1.2 质量变化

计算材料因干燥所致的相对质量变化 m_r , 或因更复杂的调节后的相对质量变化 m_c :

$$m_r = (m_1 - m_2) / m_2 \dots\dots\dots (5)$$

$$m_c = (m_1 - m_3) / m_3 \dots\dots\dots (6)$$

式中: m_1 ——接受状态的材料质量, kg 。

当材料产品标准要求或对正确评价测试状态有用时, 除 m_c 外, 计算干燥后, 因状态调节所致的相对质量变化 m_d :

$$m_d = (m_3 - m_2) / m_2 \dots\dots\dots (7)$$

计算试件在测定期间的相对质量增加 m_w :

$$m_w = (m_4 - m_5) / m_5 \dots\dots\dots (8)$$

式中: m_w ——在测定中试件的相对质量增加;

m_4 ——测定结束时试件的质量, kg ;

m_5 ——临测定之前试件干的或调节过的质量, kg 。

9.2 传热性质

用按8.8条观察到的稳态数据的平均值进行计算。只要差异不超过 $\pm 1\%$, 其他附加测量数据亦可使用。热阻 R 用式(9)计算:

$$R = \frac{A(T_1 - T_2)}{Q} \dots\dots\dots (9)$$

式中: Q ——加热单元计量部分的平均热流量, 其值等于平均发热功率, W ;

T_1 ——试件热面温度平均值, K ;

T_2 ——试件冷面温度平均值, K ;

A ——在5.1.2中定义的计量面积(双试件装置需乘以2), m^2 。

如果满足要求, 导热系数 λ 或热阻系数 r 可用下式计算:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{A(T_1 - T_2)} \dots\dots\dots (10)$$

或

$$r = \frac{1}{\lambda} = \frac{A(T_1 - T_2)}{Q \cdot d} \dots\dots\dots(11)$$

式中：d——试件平均厚度，m。

10 测定报告

测定结果的报告应包括下列各项（双试件装置为两块试件的平均值）：

- 10.1 材料的名称、标志以及物理说明。
- 10.2 试件的制备过程。
- 10.3 试件的厚度。应注明由热、冷单元位置确定或测量试件的实际厚度。
- 10.4 状态调节的方法和温度。
- 10.5 调节后材料的密度。
- 10.6 在干燥和（或）调节过程中相对质量变化。
- 10.7 测定过程中质量的相对变化，测定过程中厚度变化。
- 10.8 测定时试件的平均温差及确定温差的方法。按5.5.1.3 c测定时，应给出测定试件温差的温度传感器的型式和布置的说明。
- 10.9 测定平均温度。
- 10.10 热流密度。
- 10.11 试件的热阻。合适时给出热阻系数或导热系数及其可应用的厚度和温差范围。
- 10.12 日期和测定时间。
- 10.13 装置的型式（单或双试件）、取向（垂直、水平或其他方向。单试件装置的试件不是垂直方向时，说明试件的热侧位置）、减少边缘损失的方法和测定过程中环绕防护热板组件的环境温度、充填用气体种类和压力及用以吹除的气体种类。
- 10.14 必要时给出热性质的值为纵坐标、相应的测定平均温度为横坐标的图或表。
- 10.15 给出所测热性质的最大预计误差。当本标准中某些要求不满足时，建议在报告中给出测量值的误差估算。
- 10.16 在情况或需要无法完全满足本标准所述的测定过程时，可以同意作出例外，但必须在报告中特别说明。建议的写法是：“本测定除……外符合GB 10294的要求”。

附录 A

本方法适用性估测 (补充件)

A1 测量非匀质试件热阻时, 试件和计量单元的热流密度可能既不单向又不均匀。试件中的热流场歪曲会导至严重误差。试件中靠近计量区域部分(尤其是这个区域边缘)的不均匀性影响最大。

由于边缘热损失误差和不平衡误差随着试件中不均匀性位置的变化以不能预料的方式变化, 很难给出本方法适用性的判断。下面提出的所有检查可能受到系统误差的影响。系统误差掩盖不同测定的真实差别。

试图估计误差的一种方法是: 从相同的样品中选择两组试件, 它们在靠近计量区域处的结构差异应尽可能大。比较它们的测量结果, 如果不能认为相同, 可能要测定一系列试件。某些材料中可能在很小的距离上发生结构变化, 可用切得比板的尺寸大的一组试件进行两次测定。测定时试件要仔细定位, 使计量区域的边缘分别位于结构的两种极端情况。比较两次测定结果, 其差异归结为热流歪曲影响。两次测定时都应将试件突出装置的部分良好地绝热, 以减少暴露部分增加的热损失。

A2 试件与加热和冷却单元面板接触的两个表面之间可能存在直接的热短路。当与试件两表面接触的导热较快的材料(如装置的面板)被热阻低的通道连接时, 影响最大。可用切断热短路的方法判断其影响。用磨平的软木片(或类似绝热材料)做成0.002 m(或稍厚)的垫片插入板与试件之间。垫片必须磨得与板面一样平(见5.1.1)。垫片的热阻可单独测量。如果试件的热阻变化大于 $\pm 1\%$, 应用较厚的垫片再作测定。用分析和计算亦能估计热流歪曲的影响, 报告中应给出决定这些影响的方法。

附录 B

可确定材料热性质的试件最小厚度 (补充件)

试件中包含的传热过程中, 只有传导产生的热流与试件的厚度成比例, 其他传热过程关系较复杂。试件愈薄、材料的密度愈小, 热阻愈与传导以外的过程有关。因而测定结果与试件厚度有关, 不能满足导热系数和热阻系数定义的要求, 可以认为所有材料都存在厚度的低限。

如果不知道能够确定材料导热系数和热阻系数的最小厚度, 可按下面列举的粗略过程进行估计。要区别由于在冷却、加热面板下放置热电偶以及试件表面不平所引起的附加热阻和试件由于传导、辐射两种传热模式所起作用的变化而产生的热阻变化。它们能以相同的方式影响测定结果, 并且经常是叠加的。

过程: 选择密度分布均匀的样品, 厚度等于欲测材料的最大厚度或装置允许测定的最大厚度。这个厚度记为 d_5 。从样品中切出5组试件, 厚度从实际使用的最小厚度起, 以大致相同的增量增加, 其厚度分别为 d_1 到 d_5 。试件组的标号为 s_1 到 s_5 。密度非常低的材料, 由于试样自重可能存在密度梯度, 应检查密度均匀性, 用相同的平均温度和温差测量 s_1 , s_3 和 s_5 的厚度和热阻, 绘出热阻与厚度的曲线。有辐射和传导传热, 并证实没有对流存在的低密度材料, 热阻对厚度的关系曲线的斜率在厚度小于1~2 cm时经常随着厚度增加而减小, 然后保持为常数。常数的倒数是较大厚度试件的导热系数。

如果三个值偏离直线小于 $\pm 1\%$, 计算直线的斜率。如果偏差大于 $\pm 1\%$, 再对 s_2 和 s_4 同样进行测定, 以检查是否存在一个厚度, 超过此厚度热阻与直线的偏差小于 $\pm 1\%$ 。如果存在此厚度, 计算直线的斜率。并按 $\lambda_m = \Delta d / \Delta R$ 计算导热系数 λ_m 。 λ_m 表示材料的热性质。

试件最小厚度随材料的密度、类型和形状以及平均温度而变，亦可能是温差的函数。就本标准目的而言，如在典型的使用温度和温差下进行上述测定，能确定热阻与厚度的依赖程度。解释测定结果时必须考虑测定误差，用最小二乘法拟合 R 和 d 关系曲线可能有所帮助。要求较可靠的确定最小试件厚度时，可测定大量试件。

附录 C 误差计算 (补充件)

C1 不平衡和边缘热损失误差

若 Q 是理想一维条件下流过试件的热流量， Q_T 为实际热流量，则热流量误差 E_Q 按式(C1)计算：

$$E_Q = \frac{Q_T - Q}{Q} \dots\dots\dots (C1)$$

热流量 Q 可用 $Q = \lambda \cdot A \cdot \Delta T / d$ 计算。

假设：计量面板、防护面板和冷却面板分别为均匀温度 T_1 、 T'_1 和 T_2 ；试件为均匀的各向同性体，其导热系数为 λ ；试件边缘与温度为 T_e 的介质进行热交换。则：

$$T'_1 = T_1 - \Delta T_g \dots\dots\dots (C2)$$

式中： ΔT_g ——隔缝两侧温度差。

理论分析表明(Bode)热流量误差

$$E_Q = Z_1 + e Z_2 + \frac{\Delta T_g}{\Delta T} \times Z_3 \dots\dots\dots (C3)$$

其中： $e = (T_e - T_2) / (T_1 - T_2)$

Z_1 、 Z_2 和 Z_3 为与试件尺寸、防护单元和隔缝宽度、试件的导热系数、表面传热系数、试件的边缘绝热以及越过隔缝的热连接有关的参数。

当隔缝两侧温差 ΔT_g 等于零时，实际热流量 Q_T 只包含通过试件的和边缘热损失的热流量。因此 Z_3 是与不平衡误差有关的参数。

Z_1 、 Z_2 、 Z_3 的计算需要较复杂的级数展开。当表面传热系数趋向无限大时，边缘热损失误差 E_e 可由式(C4)近似表达：

$$E_e = Z_1 + e Z_2 = \left\{ \frac{d}{\pi l} \left[e \ln \frac{\cosh \left(\pi \frac{b+l}{d} \right) + 1}{\cosh \left(\pi \frac{b}{d} \right) + 1} \right. \right. \\ \left. \left. + (1-e) \ln \frac{\cosh \left(\pi \frac{b+l}{d} \right) - 1}{\cosh \left(\pi \frac{b}{d} \right) - 1} \right] \right\}^2 - 1 \dots\dots (C4)$$

式中： b ——防护部分宽度(从隔缝中心量起)，m；

d ——试件厚度，m；

l ——从隔缝中心到中心的计量部分宽度(或直径)的二分之一，m。

这个简化公式只有在测定条件与模型相符时才能给出正确的结果，它不适用于各向异性或非匀质试件。这个公式只能用于设计装置时估计边缘热损失的影响，决不能用于修正测量数据。

当 e 值接近0.5时，边缘热损失误差最小。不过要使试件边缘温度维持在平均测定温度是困难的。因此计算时 e 值应不大于0.25。

不平衡误差 E_g 由式(C5)表示：

$$E_g = \frac{\Delta T_g}{\Delta T} \times Z_3 = \frac{Q_g}{Q} \dots\dots\dots (C5)$$

$$Q_g = (\Phi_0 + \lambda \cdot c) \times \Delta T_g \dots\dots\dots (C6)$$

式中： Q_g ——通过隔缝的热流量。由通过导线和连接件传导的热流量($\Phi_0 \times \Delta T_g$)和横向流过试件的热流量($\lambda \cdot c \cdot \Delta T_g$)两部分组成；

Φ_0 ——由装置的尺寸和材料确定的常数；

c ——与装置的尺寸和试件有关的参数。

由式(C5)和式(C6)整理可得：

$$Z_3 = \frac{d}{A} \left(\frac{\Phi_0}{\lambda} + c \right) \dots\dots\dots (C7)$$

系数 c 不是严格的常数，双试件装置在近似边界条件下，理论估计的 c 值为：

$$c = l \frac{16}{\pi} \times \ln \frac{4}{1 - e^{-(2\pi g/d)}} \dots\dots\dots (C8)$$

式中： g ——隔缝的宽度，m。

热板的结构尺寸和材料已知时，用基本传热公式可算出 Φ_0 值。

以上分析中假设5.1.3中所述隔缝两侧温度不平衡的不均匀性和图4所示的不平衡传感器安装热阻均可忽略。如果不能忽略，相应的误差应计入 E_g 中。

C1.1 不平衡误差的测定

用低导热系数材料制作的试件，在固定的测试温度下，以不同的 ΔT_g 进行一系列测定。设试件的导热系数为 λ' ，厚度为 d' 。测定结果绘成 λ' 与 ΔT_g 的直线，求出直线的斜率 $\Delta \lambda' / \Delta T_g$ 。由 $E_g = \Delta \lambda' / \lambda'$ 和式(C5)求出 Z'_3 。同样以高导热系数试件进行测定。设试件的导热系数和厚度分别为 λ'' 和 d'' ，相应求得 Z''_3 。求解方程式组(C9)和(C10)可求得装置的常数 Φ_0 和系数 c 。

$$Z'_3 = \frac{d'}{A} \left(\frac{\Phi_0}{\lambda'} + c \right) \dots\dots\dots (C9)$$

$$Z''_3 = \frac{d''}{A} \left(\frac{\Phi_0}{\lambda''} + c \right) \dots\dots\dots (C10)$$

将 Φ_0 和 c 以及实际测定过程中的数据代入(C7)和(C5)即可确定本次测定的不平衡误差 E_g 。

C2 不对称条件引起的误差

如果两块试件不是完全相同，则温差会略有差别。假定两块试件的导热系数相等，并对温度无关，则因非对称条件导致的误差 E_s 可写成：

$$E_s = \left[\frac{d_A - d_B}{2d} \right]^2 - \frac{(T_{1A} - T_{2A}) - (T_{1B} - T_{2B})}{2(T_1 - T_2)} \times \frac{d_A - d_B}{2d} \dots\dots\dots (C11)$$

其中下标A表示第一块试件、B代表第二块试件、无下标的是平均值。

如果两块试件的导热系数不同或与温度有关，则确定 E_s 的公式就更加复杂。如果满足7.1条和8.6条的要求， E_s 可以忽略。

C3 其他误差

测量误差中还包括尺寸测量和低电平讯号测量误差,设计者和操作者都应考虑这些误差。主要有:

E_E : 施加在计量面积上的电功率的测量误差。

E_A : 计量面积的测量误差。

E_T : 温度和温差的测量误差: 与温度传感器标定的准确度、温度传感器位置不确定性、温度传感器与试件间的接触热阻以及测量仪器的精度和准确度、噪声电压有关。

E_d : 厚度的测量误差: 与测量仪器精度和准确度、试件表面的平整度有关。如果厚度不是在测试状态下测量,还与测定条件不一致有关。

C4 总误差

上述误差中大部分是系统误差。因而总误差是相加的,但它们同时作用在一个方向(增加或减小)的概率是有限的。最大或然误差的确定需要复杂的统计分析。如果没有一项误差远比其他误差大,则最大或然误差在总误差的50%~75%之间。

附录 D

松散材料的试件制备 (补充件)

测定松散材料时,试件的厚度至少为松散材料中的颗粒直径的10倍。称取经状态调节过的试样,按材料产品标准的规定制成要求密度的试件。如果没有规定,则按下述方法之一制作。然后将试件很快放入装置中或留在标准实验室气氛中达到平衡。

方法A:

当装置在垂直位置运行时采用本方法。

在加热面板和各冷却面板间设立要求的间隔柱,组装好防护热板组件。在周围或防护单元与冷却面板的边缘之间用适合封闭样品的低导热系数材料围绕,以形成一个(两个)顶部开口的盒子(加热单元两侧各一个)。把称重过的调节好的材料分成四(八)个相等部分,每个试件四份。依次将每份材料放入试件的空间中。在此空间内振动、装填、压实,直到占据它相应的四分之一空间体积,制成密度均匀的试件。

方法B:

当装置在水平位置运行时使用这种方法。

用一(两)个外部尺寸与加热单元相同的由低导热系数材料做成的薄壁盒子。盒子的深度等于待测试件的深度。用不超过50 μ m的塑料薄片或耐热和不反射的薄片(石棉纸或其他适当的均匀薄片材料)制做盒子开口面的盖子和底板,以粘贴或其他方法把底板固定到盒子的壁上。把具有一面盖子的盒子水平放在平整表面上,盒子内放入试件。注意使(两个)试件具有(相等并且)均匀的密度。然后盖上另一个盖板,形成封闭的试件。在放置可压缩的材料时抖松材料使盖子稍凸起,这样能在要求的密度下使盖子与装置的板有良好的接触。从试件方向看,在工作温度下盖子和底板表面的半球辐射系数应大于0.8。如果盖子和底板有可观的热阻,可用在5.5.1.3中所述的方法决定纯试件的热阻。

某些材料在试件准备过程中的材料损失,可能要求在测定前重称试件,这种情况下,测定后确定盒子和盖子的质量以计算测定时材料的密度。

附录 E

防护热板装置的设计指南 (参考件)

E1 设计防护热板装置的要求

设计防护热板装置前, 首先应明确下列要求:

- a. 欲测试件的最大和最小厚度;
- b. 试件的最大和最小热阻;
- c. 试件的最大和最小温差;
- d. 冷却单元的最低温度;
- e. 加热单元的最高温度;
- f. 防护部分平衡系统的灵敏度;
- g. 周围气氛;
- h. 在最坏条件下, 测量结果的允许误差(装置的总准确度)。

E2 装置尺寸的设定

初步试探时取计量单元的边长(或直径)为试件最大厚度的4倍, 而防护单元的边长(或直径)为试件最大厚度的8倍。

从建议的尺寸系列中选择装置的尺寸。

E3 加热单元的温度均匀性

因边缘热损失, 在防护单元面板上会有大的温度不均匀性。首先设定金属面板的厚度。计算经过导线传出的热损失 Q_w 以及经过加热单元边缘和试件边缘的热损失 Q_{e1} 。不设置外防护套的装置, 假定周围由均匀热阻 R_e 绝热。 R_e 可以是自然对流或绝热材料的热阻。

可以由式(E1)粗略估计:

$$Q_{e1} \approx \frac{P}{R_e} \left[\frac{Y}{4} (T_1 - T_2) + \left(d + \frac{Y}{2} \right) (T_m - T_a) \right] \quad \text{.....(E1)}$$

式中: Y ——加热单元的厚度, m;

P ——防护单元的周长, m;

R_e ——边缘绝热的最小热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$;

T_a ——边缘绝热的外表面温度, 可取为实验室室内温度, K;

T_m ——测定平均温度, K。

$Q_{e1} + Q_w$ 是由边缘热损失引起的热流量。假定这些热流量全由防护加热器以均匀热流密度传送到防护面板, 并仅有防护面板边缘与外界热交换, 按此计算金属面板的温度均匀性(见图E1), 计量单元和防护单元由于隔缝引起的温度不均匀性亦可用类似方法计算。在加热单元为最大热流量时, 应进行这项检查。

如设计者没有设计防护热板装置的经验时, 应利用已被证实的设计。

金属面板的厚度在满足温度均匀性要求的情况下应尽量薄, 避免增加不平衡误差。

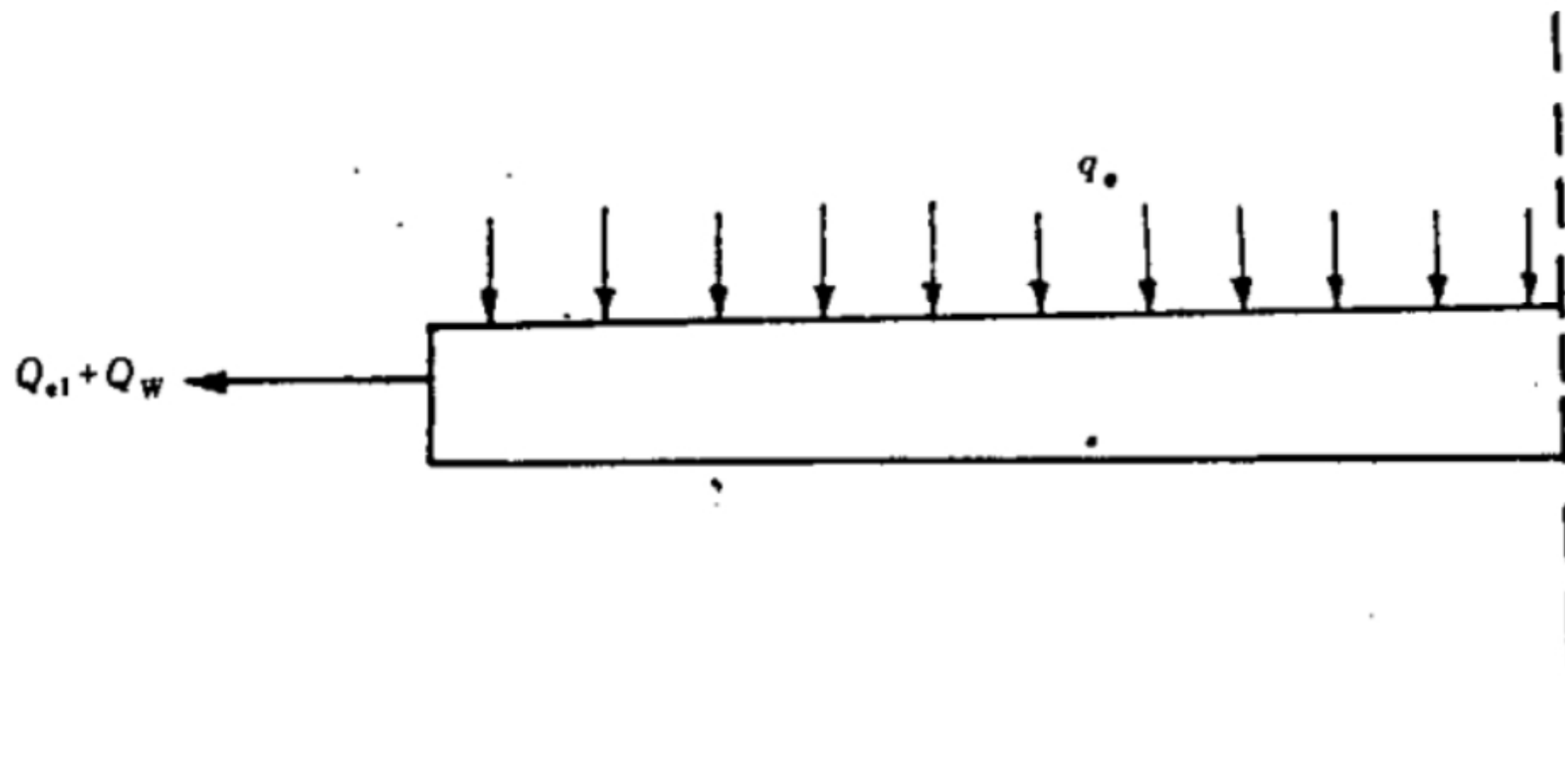


图 E1 计算金属板内温度均匀性

E4 冷却单元温度均匀性

计算试件热阻为最小、试件的温差为最大时流过试件的最大热流量,确定冷却系统的最大热负荷。选择冷却系统、冷却流体的质量流量和金属面板厚度,计算温度均匀性。

E5 不平衡和边缘热损失误差

确定 $E_g + E_e$ 的最大允许值,并按 5.1.2 确定一个试探性的隔缝宽度(窄的隔缝、不平衡误差大,宽的隔缝、计量面积的不确定性大)。按附录 C 算出参数 Φ_0 和 c 。估算试件的热阻和厚度为最大,而 $(T_1 - T_2)$ 为最小时的不平衡和边缘热损失误差。

如果不能按上述方法计算不平衡和边缘热损失误差,则必须算出防护单元的热流量。边缘热损失的热流量不得超过理想一维条件下试件内热流量的 20% (参考 E3)。

不平衡误差与不平衡检测系统的灵敏度有关,其值应与边缘热损失误差大致相同。因此,最佳防护宽度和允许最大试件厚度应验证,表 E1 为计算机程序清单,只要确定了 $E_g + E_e$ 的和,可算出最大试件厚度。

如果不满足要求,可能需要另外设定尺寸或增加外防护单元。

E6 详细设计

当装置的尺寸选定后,进行如下具体设计:

- a. 按最小试件厚度确定表面公差;
- b. 选择表面处理工艺,保证总半球发射率大于 0.8。室温下金属的氧化表面和许多油漆符合此要求;
- c. 确定装置的所有细节,如温度传感器的位置、安装方法,加热器布置,机械连接,厚度测量装置等;
- d. 按最低温度选择冷却系统;
- e. 按所需的环境(气氛)和稳定性、飘移的要求选择环境气氛调节系统;
- f. 按允许的温度飘移和波动选择温度控制系统;
- g. 按最大功率需要和最小功率时允许的飘移选择计量单元的电源;
- h. 按最小温差选择温度测量系统。

E7 总误差

按附录C 计算误差, 若总误差比预定的允许误差小, 设计是成功的。

表 E1 计算试件最大厚度的程序 (摘自ISO 8302)

本程序用于理论估算通用防护热板装置的试件最大允许厚度。程序以“Design criteria for guarded hot plate apparatus” (防护热板的设计准则) F. De. Ponte and P. Di. Filippo 论文中的公式为基础编制的。计算中作如下的假定:

- a. 穿过隔缝为两根面积为 0.129 mm^2 的导线。
- b. 测量计量单元温度的热电偶数量等于 $10\sqrt{A}$ 或2 (取大者)。其中 A 为计量单元的面积, 以 m^2 计。
- c. 采用四对温差热电偶测量温度不平衡。热电偶规格与测温度热电偶相同。
- d. 防护单元和计量单元各自具有均匀的温度, 但并不相等。
- e. 试件边缘的温度是均匀的。

所用的参数如下:

E——边缘温度与冷板的温度的差与热、冷板温度差的比值, $E = (T_{\text{边}} - T_{\text{冷}}) / (T_{\text{热}} - T_{\text{冷}})$;

RATIO T——隔缝两侧温度差与热、冷板温度差的比值;

RATIO K——加热器导线的导热系数与试件导热系数之比;

T/C K——热电偶线的导热系数与铜线导热系数之比 (变量KCU);

GAP——隔缝的宽度, cm;

PLATE——板的总宽度, cm (变量WPLATE);

GUARD——防护单元的宽度, cm;

%ERR——测量值的总的理论误差;

MAX.THICKNESS——误差为设计总误差时试件最大厚度。

C	1
C	2
C PROGRAM TO CALCULATE MAXIMUM SPECIMEN THICKNESS ALLOWED FOR VARIOUS	3
C PERCENTAGE ERRORS (0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0)	4
C	5
C MAXIMUM THICKNESSES ARE CALCULATED FOR THREE GUARD WIDTHS: 1/6 PLATE	6
C WIDTH, 1/4 PLATE WIDTH, 1/3 PLATE WIDTH.	7
C	8
C INPUT (CONSISTS OF: E = FRACTION OF TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN PLATES	9
C AT SPECIMEN EDGE.	10
C RATIO T = RATIO OF GAP TEMPERATURE DIFFERENCE TO	11
C SPECIMEN TEMPERATURE DIFFERENCE.	12
C RATIO K = RATIO OF THERMAL CONDUCTIVITY OF	13
C LEADS ACROSS GAP TO THERMAL CONDUCTIVITY OF SPECIMEN.	14
C KCU = THERMAL CONDUCTIVITY OF T/C ACROSS GAP	15
C RELATIVE TO THERMAL CONDUCTIVITY OF COPPER.	16
C D = GAP WIDTH.	17
C WPLATE = PLATE WIDTH.	18
C	19
C NO. OF T/C ACROSS GAP IS BASED ON ASTM FORMULA (NO. = $1/8 \cdot \text{SQRT}(\text{AREA PLATE})$)	20
C WITH A MINIMUM OF 2 BEING ASSUMED IF NO. = 2 OR LESS.	21
C ONE COPPER LEAD (0.000 2 SQ. IN.) WAS ALSO ASSUMED ACROSS THE GAP	22

C	AND FOUR DIFFERENTIAL T/C, OF THE SAME MATERIAL AS THE TEST AREA T/C,	23
C	WERE ASSUMED ACROSS THE GAP.	24
C		25
	DIMENSION G (5), ER (10), ANS (10), GM (10), ANSN (10)	26
	REAL L, KCU	27
	INTEGER CARD	28
	COMMON WPLATE, E, RATIOT, RATIOK, AC, WGUARD, ERR, D, L	29
	CARD = 1	30
	LP = 3	31
	K = 1	32
	ER (1) = 0.1	33
	ER (2) = 0.2	34
	ER (3) = 0.5	35
	ER (4) = 1.0	36
	ER (5) = 2.0	37
	ER (6) = 5.0	38
	EPS = 0.000 01	39
	IEND = 20	40
C		41
1 000	READ (CARD, 200) WPLATE	42
	IF (WPLATE) 1, 99, 2	43
1	READ (CARD, 100) E, RATIOT, RATIOK, KCU, D	44
	DM = D/0.393 700 79	45
	WPLATE = -WPLATE	46
C		47
	IF (K) 73, 72, 73	48
72	WRITE (LP, 900)	49
	WRITE (LP, 901)	50
73	WRITE (LP, 700) E, RATIOT, RATIOK, KCU, DM	51
	WRITE (LP, 500)	52
	WRITE (IP, 600) (ER (I), I = 1, 6)	53
C		54
2	G (1) = WPLATE/6.	55
	G (2) = WPLATE/4.	56
	G (3) = WPLATE/3.	57
	K = 0	58
C		59
	WPLATM = WPLATE/0.393 700 79	60
	WRITE (LP, 401) WPLATM	61
	DO 40 I = 1, 3	62

	L = WPLATE/2. - G (I)	63
	WGUARD = G (I)	64
	GM (I) = G (I) / 0.393 700 79	65
C		66
	X = L/4.	67
	IX = X	68
	IF (X-IX) 4, 4, 3	69
3	IX = IX + 1	70
4	IF (IX-1) 5, 5, 6	71
5	IX = 2	72
6	AC = (IX + 4.) * 0.000 078 94 * KCU + 0.000 2	73
C		74
	H1 = 0.0001 * WPLATE	75
	DO 30 J = 1, 6	76
	ERR = ER (J)	77
7	H2 = 2. * H1	78
	IF (FCT (H1) * FCT (H2)) 9, 9, 8	79
8	H1 = H2	80
	GO TO 7	81
9	CALL RTMIX (ANSH, ANSE, FCT, H1, H2, EPS, IEND, IER)	82
	IF (IER) 10, 20, 10	83
10	ANS (J) = 0.0	84
	GO TO 30	85
20	ANS (J) = ANSH	86
	ANSM (J) = ANS (J) / 0.393 700 79	87
30	CONTINUE	88
	IF (I-2) 70, 71, 70	89
71	WRITE (LP, 400) WPLATE	90
70	WRITE (LP, 301) GM (I), (ANSM (J), J = 1, 6)	91
40	CONTINUE	92
	WRITE (LP, 200)	93
	GO TO 1000	94
99	WRITE (LP, 900)	95
	WRITE (LP, 901)	96
	WRITE (LP, 999)	97
	STOP	98
100	FORMAT (F4.2, F6.4, F8.6, F4.2, F6.4)	99
200	FORMAT (F6.2)	100
300	FORMAT (32X, '0', F5.2, ')', 8X, 6 ((' ', F6.3, ')'))	101
301	FORMAT (33X, F5.2, 7X, 6 (1X, F7.1))	102
400	FORMAT ('-', 16X, '(', F5.2, ')')	103
401	FORMAT ('-', 16X, F6.2)	104
500	FORMAT (18X, 'PLATE', 10X, 'GUARD', 26X, 'MAX. THICKNESS')	105
600	FORMAT (44X, '%ERR', 2X, F3.1, 5 (5X, F3.1)/)	106
700	FORMAT ('1', 19X, 'E =', F4.2, 4X, 'RATIO T =', F6.4, 4X, 'RATIO K =', F7.1, 4X	107

	1, 'T/C K = ', F4.2, 4X, 'GAP = ', F5.3, //)	108
900	FORMAT (/ , 32X, 'NOTE, 1) TERMS NOT BRACKETED MEASURED IN CENTIMETER	109
	1S.')	110
901	FORMAT (38X, '2) BRACKETED. TERMS MEASURED IN INCHES.')	111
999	FORMAT ('1')	112
	END	113

SUBROUTINE RTMI (X, F, FCT, XLI, XRI, EPS, IEND, IER)

	IER = 0	2
	XL = XLI	3
	XR = XRI	4
	X = XL	5
	TOL = X	6
	F = FCT (TOL)	7
	IF (F) 1, 16, 1	8
1	FL = F	9
	X = XR	10
	TOL = X	11
	F = FCT (TOL)	12
	IF (F) 2, 16, 2	13
2	FR = F	14
	IF (EL*FR) 3, 25, 25	15
C		16
3	I = 0	17
	TOLF = 100. * EPS	18
C		19
4	I = I + 1	20
C		21
	DO 13 K = 1, IEND	22
	X = .5 * (XI + XR)	23
	TOL = X	24
	F = FCT (TOL)	25
	IF (F) 5, 16, 5	26
5	IF (F*FR) 6, 7, 7	27
C		28
6	TOL = XL	29
	XL = XR	30
	XR = TOL	31
	TOL = FL	32
	FL = FR	33
	FR = TOL	34

7	TOL = F - F L	35
	A = F * TOL	36
	A = A + A	37
	IF (A - FR * (FR - FL)) 8, 9, 9	38
8	IF (I - IEND) 17, 17, 9	39
9	XR = X	40
	FR = F	41
C		42
	TOL = EPS	43
	A = ABS (XR)	44
	IF (A - 1.) 11, 11, 10	45
10	TOL = TOL * A	46
11	IF (ABS (XR - XL) - TOL) 12, 12, 13	47
12	IF (ABS (FR - FL) - TOLF) 14, 14, 13	48
13	CONTINUE	49
C		50
	IER = 1	51
14	IF (ABS (FR) - ABS (FL)) 16, 16, 15	52
15	X = XL	53
	F = FL	54
16	RETURN	55
C		56
17	A = FR - F	57
	DX = (X - XL) * FL * (1. + F * (A - TOL) / (A * (FR - FL))) / TOL	58
	XM = X	59
	FM = F	60
	X = XL - DX	61
	TOL = X	62
	F = FCT (TOL)	63
	IF (F) 18, 16, 18	64
C		65
18	TOL = EPS	66
	A = ABS (X)	67
	IF (A - 1.) 20, 20, 19	68
19	TOL = TOL * A	69
20	IF (ABS (DX) - TOL) 21, 21, 22	70
21	IF (ABS (F) - TOLF) 16, 16, 22	71
C		72
22	IF (F * FL) 23, 23, 24	73
23	XR = X	74
	FR = F	75
	GO TO 4	76
24	XL = X	77
	FL = F	78
	XR = XM	79

	FR = FM	80
	GO TO 4	81
C		82
25	IER = 2	83
	RETURN	84
	END	85
	FUNCTION FCT (H)	1
	REAL NUM, L, LC	2
	COMMON WPLATE, E, RATIOT, RATIOK, AC, WGUARD, ERR, D, L	3
	PI = 3.141 592 653 5	4
C		5
	CONST = 16. * ALOG (4.) / PI	6
C		7
	LC = D	8
C		9
	VARIA1 = 1. - EXP (-2. * PI * D / H)	10
	TERM1 = RATIOK * AC / (LC * L)	11
	TERM3 = 16. * ALOG (VARIA1) / PI	12
	EPSIG = H * RATIOT * (TERM1 + CONST - TERM3) / (8. * L)	13
C		14
	TERM4 = COSH (PI * (WGUARD + L) / H)	15
	TERM5 = COSH (PI * WGUARD / H)	16
	TERM6 = ALOG ((TERM4 + 1.) / (TERM5 + 1.))	17
	TERM7 = ALOG ((TERM4 - 1.) / (TERM5 - 1.))	18
	NUM = E * TERM6 + (1. - E) * TERM7	19
	EPSIL = ((NUM * H) / (PI * L)) ** 2 - 1	20
C		21
	FCT = ERR / 100. - ABS (EPSIG + EPSIL)	22
C		23
	RETURN	24
	END	25

附录 F
热电偶 误差极限
(参考件)

热电偶类型	温度范围 ℃	误差极限-参考接点为0℃	
		标准 ℃(取大者)	专用 ℃(取大者)
T	0~360	±1或±0.75%	±0.5或±0.4%
J	0~750	±2.2或±0.75%	±1.1或±0.4%
E	0~900	±1.7或±0.5%	±1或±0.4%
K	0~1250	±2.2或±0.75%	±1.1或±0.4%
R或S	0~1450	±1.5或±0.25%	±0.6或±0.1%
B	800~1700	±0.5%	—
T ¹⁾	-200~0	±1或±1.5%	—
E ¹⁾	-200~0	±1.7或±1%	—
K ¹⁾	-200~0	±2.2或±2%	—

注：1) 无专用级标准。

附加说明：

本标准由河南建材研究设计院归口。

本标准由河南建材研究设计院负责起草。

本标准主要起草人曹声含。