

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 11833—2014  
代替 GB/T 11833—1989

---

## 绝热材料稳态传热性质的测定 圆球法

Determination of steady-state thermal transmission properties of thermal insulation—  
Spherical method

2014-06-24 发布

2015-02-01 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

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 11833—1989《绝热材料稳态传热性质的测定 圆球法》，除编辑性的修改外主要技术变化如下：

- 删除了部分术语(见第 3 章)；
- 增加了“计算表观导热系数时应考虑支承管传递热量的影响”(见第 4 章)；
- 增加了外球内径与内球外径之差的一半与试件颗粒直径之比“以 20 倍为宜。”(见 5.1.1)；
- 修改了温度和温差测定系统的灵敏度和准确度要求(见 5.1.5.2)；
- 将被测材料的最大粒径修改为“应小于试料层厚度的十分之一”(见 6.2)；
- 修改了“附录 A 热电偶允差及类型”部分内容。

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。

本标准负责起草单位：河南建筑材料研究设计院有限责任公司。

本标准主要起草人：张利萍、张茂亮、张维舟、徐元盛、杨艳娟、白召军。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 11833—1989。

## 绝热材料稳态传热性质的测定 圆球法

### 1 范围

本标准规定了使用圆球装置测定颗粒状或粉状材料稳态传热性质的方法。

本标准适用于表观导热系数范围为(0.02~1.00)W/(m·K)干燥材料传热性质的测定。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4132 绝热材料及相关术语

### 3 术语和定义

GB/T 4132 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**试样 test sample**

按被测材料标准中规定的方法抽样,并缩减到略大于测定所需数量的样品。

#### 3.2

**试件 test specimen**

装入测定装置中进行测定的试样。

### 4 原理

圆球传热装置由同心设置的发热内球和冷却外球组成,其构造原理如图1所示。内、外球温度稳定时,内球发出的热流量 $Q$ 径向通过试件传到外球,测定内球发热功率、内球外表面与外球内表面的温度和球体的几何尺寸,可按式(1)计算被测材料的表观导热系数。

$$\lambda_a = \frac{Q}{T_1 - T_2} \times \frac{D_2 - D_1}{D_2 \times D_1} \times \frac{1}{2\pi} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$\lambda_a$  ——被测材料的表观导热系数,单位为瓦每米每开尔文[W/(m·K)];

$Q$  ——内球发出的热流量,数值上等于施加在内球发热器上的电功率,单位为瓦(W);

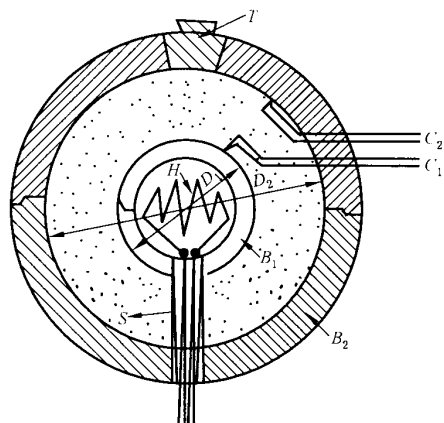
$D_1$  ——内球外径,单位为米(m);

$D_2$  ——外球内径,单位为米(m);

$T_1$  ——内球外表面温度,单位为开尔文(K);

$T_2$  ——外球内表面温度,单位为开尔文(K)。

为减小测量误差,计算表观导热系数时应考虑支承管传递热量的影响。



说明：

$B_1$  —— 内球；

$B_2$  —— 外球；

$C_1$  —— 内球测温热电偶；

$C_2$  —— 外球测温热电偶；

$H$  —— 发热器；

$S$  —— 支承管；

$T$  —— 加料口盖子；

$D_1$  —— 内球外径；

$D_2$  —— 外球内径。

图 1 圆球装置原理图

## 5 装置

### 5.1 装置的技术要求

#### 5.1.1 装置的尺寸

装置的尺寸随被测材料的颗粒尺寸而定。外球内径与内球外径之差的一半 $[(D_2 - D_1)/2]$ 应不低于试件颗粒直径的 10 倍，以 20 倍为宜。外球内径和内球外径的比值建议在 1.4~2.5 之间。

#### 5.1.2 加热单元——内球

内球体为空心厚壁球，由高导热系数的金属材料制成。球面在工作温度下不应与试件和环境有化学反应。圆球的外表面应加工到圆度小于外径的 $\pm 0.2\%$ 。在运行中内球表面的温度不均匀性应小于内、外球温度差的 $\pm 2\%$ 。所有工作表面应处理，使在工作温度下的总半球辐射率大于 0.8。内球的空腔内设置电加热器。加热器用绝缘支架制成球形，加热器引线在内球出口处应接成四线制，以便准确测定内球发热功率。引线应避免使用铜线，防止因引线散热而造成显著误差。适当选择电流和电压导线的材料和直径，由电流导线的发热量补偿电压导线的传热损失，可使导线传热引起的误差减至最小。

#### 5.1.3 冷却单元——外球

外球体应分成上、下两个半球。上半球的顶部应有一加料孔，加料孔应配有密闭的盖子。加料孔面

积较大时,盖子应采取专门措施防止其温度偏离外球温度。

外球体应控制在恒定的低于加热单元的温度。内表面温度不均匀性应小于测定温差的 $\pm 2\%$ 。金属球体可用通过恒温的流体来恒温。温度较高时,也可用电加热器进行控温或二者并用。内表面的半球发射率应大于0.8。

内、外球应保持同心,其偏心距离应小于内球外径的2.5%。可采用支承管保持内外球的同心,以防止内球自重压迫试件造成变形。支承管应用低导热系数材料制作,其横截面应尽量小。在任何情况下,由支承管传递的热量应小于内球发热量的5%。

如外球温度低于环境空气的露点,外球上、下半球及盖子的接缝处应设置“O”形密封圈或其他密封措施,防止试件吸潮。

#### 5.1.4 防护罩

为减少室内空气波动对外球温度的影响,圆球部分应用防护罩与室内空气隔离。当外球温度显著高于室温或低于室温时,防护罩内宜设置保温层。

#### 5.1.5 测定系统

5.1.5.1 温度测定传感器宜用热电偶。内、外球温度用埋设在内、外球球体内或球面沟槽中的热电偶测定。热电偶线的直径应小于0.3 mm。所有热电偶的允差应满足附录A中专用级的要求。否则,应单独校准筛选,并制定热电对照表。应避免使用铜-康铜热电偶。内球埋设热电偶的数量应不少于四个,上、下半球均匀设置。热电偶位置应避免支承管和上、下半球接缝等温度场可能被扭曲的部位。外球埋设的热电偶数量与内球相同。内、外球热电偶亦可接成温差式,直接测量内、外球的温度差,此时热电偶必须与内、外球体电气绝缘。

5.1.5.2 温度和温差测定系统的灵敏度和准确度应优于温差的 $\pm 0.2\%$ 。

5.1.5.3 内球加热功率的测定误差,在全量程范围内均应优于 $\pm 0.1\%$ 。

#### 5.1.6 温度控制系统

5.1.6.1 内球加热方式可以为恒热流法或恒温度法,恒温度法可显著缩短测试时间。加热电源宜使用直流供电。采用恒热流法时,加热电压的波动应不超过 $\pm 0.1\%$ ,每2 h的飘移应不超过 $\pm 0.1\%$ ;采用恒温度法时,内球外表面温度波动和飘移引起的测试误差应不超过 $\pm 0.3\%$ 。加热功率的波动应不超过 $\pm 0.3\%$ 。

5.1.6.2 外球的温度控制系统应控制外球内表面温度的波动和飘移不超过内、外球温差的 $\pm 0.3\%$ 。

#### 5.2 装置的校核

5.2.1 圆球装置在投入使用前应进行细致的校核,经校核后装置方可正式使用。建议定期校核装置的稳定性。

5.2.2 几何尺寸:检查内球的外径及其圆度;外球的内径及其圆度;内、外球同心度。

5.2.3 电气绝缘:在工作温度范围的两端重复测定电加热器对球体的电气绝缘应大于1 M $\Omega$ ;若采用温差接法,热电偶对球体的电气绝缘应大于1 M $\Omega$ 。

5.2.4 温度测定系统:球体的试料腔内装入高导热系数材料,在室温保持热平衡。内、外球温度应与室温很接近,干扰电压应在温度测定系统噪声电压范围内。在球体与加热器之间加上加热器预期的最高工作电压,由此引起的读数改变应小于温度测定的允许误差(见5.1.5.2)。外球升温并维持在最高工作温度,内球不加热。热平衡时,内、外球温度应相同,差值应小于热电偶筛选偏差(见5.1.5.1)及温度测定系统的允许误差(见5.1.5.2)之和。

5.2.5 温度控制系统:球体试料腔内装入低导热系数材料,以装置设计的最小温差进行测定。检查内球温度的波动和飘移。恒温度法时还应校核加热功率的波动和飘移。再用装置设计时预定的最大导热

系数材料,以最大的温差进行测定,检查内、外球温度均匀性及外球温度的波动和飘移。在装置工作温度范围的上、下限重复上述检查。

5.2.6 用国家认可试验室测定过的热稳定性材料进行测定,测定误差应小于设计误差。装置的设计误差估算方法见附录 B。

## 6 试件制备

6.1 试样应按被测材料的产品标准所规定的方法抽样,并缩小到所需数量。

6.2 被测材料的最大粒径应小于试料层厚度的十分之一。

6.3 试样应在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 通风烘箱中状态调节到恒量(4 h 质量变化小于 0.5%)。烘干的试样应放入干燥器中冷却至室温后备用。

6.4 按被测材料的产品标准所规定的方法测定试样的松散密度。

6.5 试样准备过程中应防止试样颗粒表面被污染,尤其是较高导热系数的试样。

## 7 测定步骤

### 7.1 试件装填

按装置的试料腔容积和测定时密度计算试件应装填的质量。测定时密度宜为堆积密度的 1.10 倍。称取试样并分为两份。先打开上半球装填下半球,装填量为试件质量的二分之一。然后安装上半球,从球顶加料孔装入另一份试样。试件应填满腔体,特别注意顶部不应有空隙。

称量试样装料前的质量和装料后的剩余质量,确定试件的质量。其准确度应优于 $\pm 0.5\%$ 。

### 7.2 温差选择

颗粒材料的传热性质与温差有关,按下述情形之一选择测定温差:

- 材料产品标准中要求;
- 被测试件的使用条件;
- 在确定温度与传热性质之间关系时,温差应尽可能低至 $(10 \sim 20)\text{K}$ ;
- 当要求试件内传质现象减到最小时,按测定温差所需的准确度选择最低的温差,这可能意味与本标准不符。

注:圆球装置测定时,试件不同半径处的温度梯度不同,内球外表面处的温度梯度为 $\Delta T / (R_2 - R_1) \times (R_2 / R_1)$ ,外球内表面处的温度梯度为 $\Delta T / (R_2 - R_1) \times (R_1 / R_2)$ ,而平均温度梯度为 $\Delta T / (R_2 - R_1)$ ( $R_1$ 为内球的外半径, $R_2$ 为外球的内半径)。如试件的表观导热系数与温度不是线性关系,选择测定温差时,应考虑实际温度梯度的范围,防止出现显著的误差。

### 7.3 外球内表面温度控制

调节上、下半球的液体流量或电功率,控制上、下两个半球的温度,使上、下两半球温度之差不超过测定温差的 $\pm 1\%$ 。

### 7.4 热流量的测定

内球发热的热流量在数值上等于施加在内球发热器上的电功率。

测定施加于内球发热器的平均功率,准确到 $\pm 0.2\%$ 。

### 7.5 过渡时间和测定间隔

为得到热性质的正确值,装置和试件应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有关。恒温式装置在升到预定温度后,再持续  $t = [(D_2 - D_1)/2]^2 / \alpha$  时间后,试件可进入稳定状态。其中  $\alpha$  为试件的热扩散系数(导温系数),其数值可按经验或由手册中查取。进入稳态后,按  $0.2t$  的时间间隔,测定加在内球加热器上的功率和内、外球温度。直到连续四组读数计算出的热性质的差别不超过  $\pm 1\%$ ,并且不是单调地朝一个方向改变,以及由内球温度飘移引起的误差小于  $\pm 0.3\%$  时,测试结束。

## 8 计算

### 8.1 装填密度

根据 7.1 称量、装入试料腔内试件的质量和试料腔的体积,按式(2)计算出试件的装填密度。

$$\rho = \frac{M}{\frac{\pi}{6}(D_2^3 - D_1^3)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$\rho$  ——试件的密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$M$  ——试件的质量,单位为千克(kg);

$D_1$  ——内球外径,单位为米(m);

$D_2$  ——外球内径,单位为米(m)。

### 8.2 质量的变化

根据状态调节前和后试样的质量,按式(3)计算调节过程中试样质量的相对变化:

$$m = \frac{M_2 - M_1}{M_2} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$m$  ——调节前、后质量相对变化,%;

$M_1$  ——调节前试样的质量,单位为千克(kg);

$M_2$  ——调节后试样的质量,单位为千克(kg)。

### 8.3 计算传热性质

用按 7.5 测试的四组读数平均值按式(4)计算试件的表观导热系数。只要相差小于  $\pm 1\%$ ,其他附加读数亦可用于计算。

$$\lambda'_a = \frac{Q(D_2 - D_1)}{2\pi(T_1 - T_2)D_2 \times D_1} - \frac{\lambda'F'}{2\pi L} \times \frac{D_2 - D_1}{D_2 \times D_1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$\lambda'_a$  ——试件的表观导热系数,单位为瓦每米每开尔文[ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$\lambda'$  ——支承管材料的导热系数,单位为瓦每米每开尔文[ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$F'$  ——支承管横截面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$L$  ——支承管的长度[一般情况下,取其数值  $L = (D_2 - D_1)/2$ ],单位为米(m);

$Q$  ——内球发出的热流量,数值上等于施加在内球发热器上的电功率,单位为瓦(W);

$D_1$  ——内球外径,单位为米(m);

$D_2$  ——外球内径,单位为米(m);

$T_1$  ——内球外表面温度,单位为开尔文(K);

$T_2$  ——外球内表面温度,单位为开尔文(K)。

## 8.4 平均温度

根据 7.5 测定温度的平均值计算测定时试件的平均温度  $\bar{T}$ , 见式(5)。

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{T_1 - T_2}{2} \left\{ \frac{[(D_2/D_1)^2 - 1] \times (D_2/D_1 - 1)}{(D_2/D_1)^3 - 1} \right\} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

$D_1$  ——内球外径, 单位为米(m);

$D_2$  ——外球内径, 单位为米(m);

$T_1$  ——内球外表面温度, 单位为开尔文(K);

$T_2$  ——外球内表面温度, 单位为开尔文(K)。

## 9 报告

测定结果的报告应包括下列各项:

- a) 材料名称、标志以及物理性质说明(如颗粒级配……等);
- b) 状态调节的方法和温度;
- c) 状态调节后试样的松散密度;
- d) 测定时试件的密度;
- e) 测定时的平均温度和温差;
- f) 热性质数值及其可用的温差范围;
- g) 日期和测定持续时间;
- h) 装置的尺寸;
- i) 必要时给出热性质的值为纵坐标, 相应的测试平均温度为横坐标的图或表;
- j) 给出所测热性质数值的最大预计误差;
- k) 如果测定过程中无法完全满足本标准所述的测定过程时, 可允许有例外, 但应在报告中特别说明。建议的写法是: “本测定除……外符合 GB/T 11833 的要求, 完整的例外清单如下”。

附 录 A  
(规范性附录)  
热电偶允差和类型

表 A.1 热电偶允差

热电偶类型	温度范围 ℃	允差 —— 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	0~1 250	±2.2 ℃或±0.75%	±1.1 ℃或±0.4%
R 或 S	0~1 450	±1.5 ℃或±0.25%	±0.6 ℃或±0.1%
B	800~1 700	±0.5%	
T <sup>a</sup>	- 200~0	±1 ℃或±1.5%	
E <sup>a</sup>	- 200~0	±1.7 ℃或±1%	
K <sup>a</sup>	- 200~0	±2.2 ℃或±2%	

<sup>a</sup> 用于低于 0 ℃的热电偶,在订货时应予说明。

表 A.2 热电偶类型

类型	材质
B	正极为铂(30%)铑合金,负极为铂(6%)铑合金
E	正极为镍(10%)铬合金,负极为康铜
J	正极为铁,负极为康铜
K	正极为镍(10%)铬合金,负极为镍(5%)铝或硅合金
R	正极为铂(13%)铑合金,负极为铂
S	正极为铂(10%)铑合金,负极为铂
T	正极为铜,负极为康铜

**附录 B**  
(规范性附录)  
**误差的估算**

**B.1 偏心误差**

因内、外球不同心引起的误差  $E_A$ ,按式(B.1)计算:

$$E_A = \frac{\frac{R_2}{R_1} \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{r}{R_1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \right\}}{\frac{R_2}{R_1} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R_1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} - 1} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$E_A$  —— 因内、外球不同心引起的误差;

$R_1$  —— 内球外半径,单位为米(m);

$R_2$  —— 外球内半径,单位为米(m);

$r$  —— 内球的偏心距,单位为米(m)。

**B.2 内球温度飘移引起的误差**

稳态时如内球温度随时间飘移,内球将吸(或放)热,造成热流测定误差。内球吸(或放)热引起的测定误差  $E_T$ ,按式(B.2)计算:

$$E_T = \frac{\frac{dT}{dt} \times \rho_i \times c_i \times V_i}{Q} \times \frac{1}{3\,600} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$E_T$  —— 内球吸(或放)热引起的测定误差;

$\frac{dT}{dt}$  —— 内球升温速率,单位为开尔文每小时(K/h);

$\rho_i$  —— 内球体材料的密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);

$c_i$  —— 内球体材料的比热容,单位为焦耳每千克每开尔文[J/(kg·K)];

$V_i$  —— 内球体的体积,单位为立方米(m<sup>3</sup>);

$Q$  —— 内球发出的热流量,数值上等于施加在内球发热器上的电功率,单位为瓦(W)。

以低温差测定低导热系数材料时,此项误差最大。

**B.3 支承管传热误差**

支承内球以保持内、外球同心的支承管传递的热量会造成测定误差。被测材料的导热系数越小,这项误差越大。当支承管两端与内、外球具有良好的热接触、支承管两端的温度分别为内、外球温度时,通过支承管传递的热流量  $Q'$ ,按式(B.3)计算:

$$Q' = \lambda' \times F' \times \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$Q'$  —— 支承管传递的热流量，单位为瓦 (W)；

$\lambda'$  —— 支承管材料的导热系数，单位为瓦每米每开尔文 [ $W/(m \cdot K)$ ]；

$F'$  —— 支承管横截面积，单位为平方米 ( $m^2$ )；

$L$  —— 支承管的长度 [一般情况下，取其数值  $L = (D_2 - D_1)/2$ ]，单位为米 (m)；

$\Delta T$  —— 支承管两端的温差，单位为开尔文 (K)。

假定支承管传热不影响内、外球的温度场，且忽略支承管所占体积的影响，则考虑支承管传热后，圆球装置的导热系数按式 (B.4) 计算：

$$\begin{aligned} \lambda &= (Q - Q') \frac{D_2 - D_1}{2\pi\Delta T \times D_1 \times D_2} \\ &= \frac{Q(D_2 - D_1)}{2\pi \times \Delta T \times D_1 \times D_2} - \frac{\lambda' \times F'}{2\pi L} \times \frac{D_2 - D_1}{D_1 D_2} \end{aligned} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

$\lambda$  —— 试件的导热系数，单位为瓦每米每开尔文 [ $W/(m \cdot K)$ ]；

$\lambda'$  —— 支承管材料的导热系数，单位为瓦每米每开尔文 [ $W/(m \cdot K)$ ]；

$F'$  —— 支承管横截面积，单位为平方米 ( $m^2$ )；

$L$  —— 支承管的长度 [一般情况下，取其数值  $L = (D_2 - D_1)/2$ ]，单位为米 (m)；

$Q$  —— 内球发出的热流量，数值上等于施加在内球发热器上的电功率，单位为瓦 (W)；

$Q'$  —— 支承管传递的热流量，单位为瓦 (W)；

$D_1$  —— 内球外径，单位为米 (m)；

$D_2$  —— 外球内径，单位为米 (m)；

$\Delta T$  —— 支承管两端的温差，单位为开尔文 (K)。

式 (B.4) 右侧第二项即为支承管传热引起的误差修正项。当装置制成后，此项为一个常数。

如支承管两端温度不是分别与内、外球的温度相同，则支承管轴向温度梯度随测量时的内、外球温度、环境温度和仪器构造等因素而变，应实测其轴向温度梯度才能进行修正。

#### B.4 其他误差

除上述误差外，误差分析中尚应考虑下列误差：

- a) 内、外球尺寸误差；
- b) 电功率测定误差；
- c) 温度测定误差 (包括热电偶标定误差、安装误差和测定仪表误差)；
- d) 支承管传热修正后的剩余误差。这是由于支承管尺寸测定误差和导热系数误差引起的。

#### B.5 误差综合

上述各项误差的绝对值之和是装置可能出现的最大误差，但各项误差的作用在同一方向积累的可能性很小。一般情况下，如没有一项误差特别大，则装置的综合误差为最大误差的 50 % ~ 75 %。

中华人民共和国  
国家标准  
绝热材料稳态传热性质的测定 圆球法  
GB/T 11833—2014

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)  
网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)  
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235  
读者服务部:(010)68523946  
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

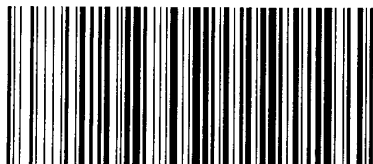
\*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 18 千字  
2014年8月第一版 2014年8月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-49659 定价 18.00 元

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)68510107



GB/T 11833-2014