



中华人民共和国国家标准

GB/T 34186—2017

耐火材料 高温动态杨氏模量试验方法 (脉冲激振法)

Refractory products—Determination of dynamic Young's modulus(MOE) at
elevated temperatures by impulse excitation of vibration

2017-09-08 发布

2018-08-01 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

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由全国耐火材料标准化技术委员会(SAC/TC 193)提出并归口。

本标准起草单位：中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司、武汉科技大学、郑州大学、辽宁青花集团耐火材料股份有限公司。

本标准主要起草人：谭丽华、尹玉成、宋艳艳、葛铁柱、王健东、李永刚。

耐火材料 高温动态杨氏模量试验方法 (脉冲激振法)

警示——本标准没有规定使用中所有与安全有关的事项。本标准使用者有责任预先建立适当的安全条例并确定其限定的范围。

1 范围

本标准规定了耐火材料高温动态杨氏模量试验方法(脉冲激振法)的原理、设备、试样、试验步骤、结果计算及试验报告等。

本标准适用于耐火材料高温动态杨氏模量(脉冲激振法)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 4513.5 不定形耐火材料 第5部分:试样制备和预处理

GB/T 7321 定形耐火制品试样制备方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 16839.1 热电偶 第1部分:分度表

GB/T 16839.2 热电偶 第2部分:允差

GB/T 30758 耐火材料 动态杨氏模量试验方法(脉冲激振法)

3 术语和定义

GB/T 30758 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高温动态杨氏模量 **Young's modulus at elevated temperatures**

在高于室温的温度下采用动态法测得的杨氏模量。

4 原理

将试样加热到试验温度,保温至规定的时间,冲击器敲击试样,测试试样的弯曲共振频率,将其代入公式计算出试样的动态杨氏模量。

5 意义和用途

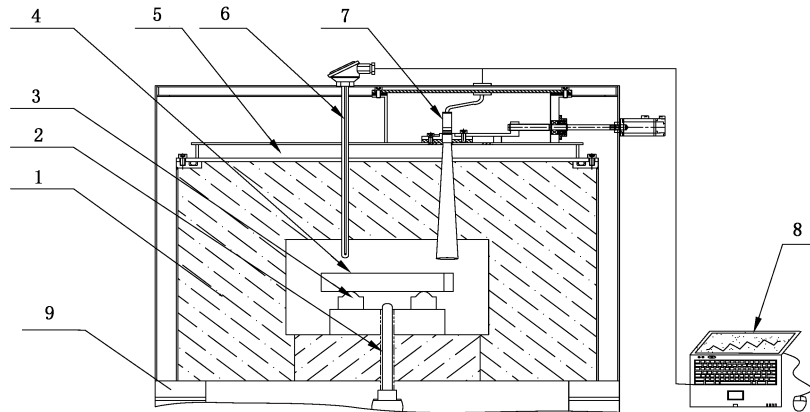
意义和用途如下:

- 可用于评价耐火材料的特性,辅助耐火材料的研究及其质量控制;
- 适用于测试均一性耐火材料的杨氏模量;
- 为动态测试方法,可测试长条状或圆柱状试样的杨氏模量;

- d) 为无损检测,测试过程中,试样仅发生微小变形,对试样损伤非常小,因此测试后试样仍可用于其他性能测试;
- e) 可依据试样尺寸、组成和结构变化选择测试范围;
- f) 利用冲击器(锤)敲击被简单支撑的试样;
- g) 不适用于有大裂纹或空隙的试样;
- h) 只局限于测试具有规则几何形状的试样,如长条状和圆柱状,因为杨氏模量的计算公式由试样的相关尺寸、质量和共振频率组成;
- i) 试样表面不平整或过分粗糙会对计算结果的准确性产生严重影响,动态杨氏模量与试样厚度的立方成反比,所以试样厚度的变化对结果有重要影响;
- j) 假定试样为自由振动,无任何约束或阻碍,因此应合适放置试样,确保其能自由振动。

6 设备

6.1 设备主要包括试验炉、脉冲激发测量装置和试样支撑装置等,其结构原理图见图 1。



说明:

- 1——炉衬;
- 2——冲击器;
- 3——试样支撑装置;
- 4——试样;
- 5——保护装置;
- 6——热电偶;
- 7——高温传感器;
- 8——信号分析系统;
- 9——隔振装置。

图 1 试验设备结构示意图

6.2 电加热炉,能够至少容纳一块试样,具有按 8.4.1 规定的升温制度将试样加热到试验温度的能力。应有足够大的加热区域,且保证试验时试样周围温度均匀,温差不超过 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

对于含碳等易氧化试样,试验炉中试样周围的气氛应是中性或还原性的,可采用气密性试验炉,通入纯净的氮气或氩气等保护性气体以保护试样免于氧化。

6.3 脉冲激发测量装置包括冲击器、高温传感器、信号分析系统,如图 1 所示,用于激发、探测、分析和记录试样的固有频率。

在试验温度下,冲击器和试样接触时不应发生任何化学反应或变形;冲击器的冲击力应能使试样产

生合适的振动,但不能对试样造成物理损坏或使试样移动。

高温传感器由接收器和保护装置等组成,可测频率量程至少为 50 Hz~20 kHz,传感器的最大可接收频率在-3 dB 功率损耗发生之前应至少大于频率测量量程的 10%。

信号分析系统精度应达到 0.1%FS。

注:推荐冲击器冲击头的曲率半径 R 为 (4 ± 1) mm。

6.4 试样支撑装置可由切口整齐或圆柱形的耐高温轻质材料制成,也可采用悬线法支撑试样,试样应处于水平位置。

试验温度下,支撑装置和试样接触时不发生任何化学反应或变形,且在同一水平面上,其长度至少大于试样宽度 5 mm,若为圆柱形支撑,建议曲率半径 R 为 (5 ± 1) mm,应定期对支撑装置进行检查,以保证其符合使用要求。

试样支撑点位于距离试样两端 $0.224L$ 的节点处。

6.5 热电偶,符合 GB/T 16839.1 和 GB/T 16839.2 的要求。

6.6 游标卡尺,分度值 0.02 mm。

6.7 鼓风干燥箱,温度能控制在 (110 ± 5) °C。

6.8 电子天平,分度值为 0.01 g。

7 试样

7.1 定形试样制备依据 GB/T 7321 进行,不定形试样制备依据 GB/T 4513.5 进行。

7.2 试样可以是长条状或圆柱状。长条状试样的长宽比不小于 3,长厚比不小于 5。试样的最小尺寸至少是试样中最大颗粒的 4 倍。一般情况下长条状试样的尺寸为 $(120\sim 160)$ mm \times $(20\sim 40)$ mm \times $(20\sim 30)$ mm,试样表面应平整,试样的长、宽和厚方向的平行度偏差不超过 1%。圆柱状试样的长度和直径的比不小于 5,圆柱状试样的尺寸由相关方协商确定。

7.3 其他尺寸的试样可由相关方协商确定,试样的形状尺寸应在报告中注明。

8 试验步骤

8.1 试样干燥

一般情况下,试样应在 (110 ± 5) °C 烘干至恒量;对易水化试样,应尽可能干切,如需湿切,湿切后用干布将水擦干后应立即在鼓风干燥箱内 (110 ± 5) °C 干燥至恒量。

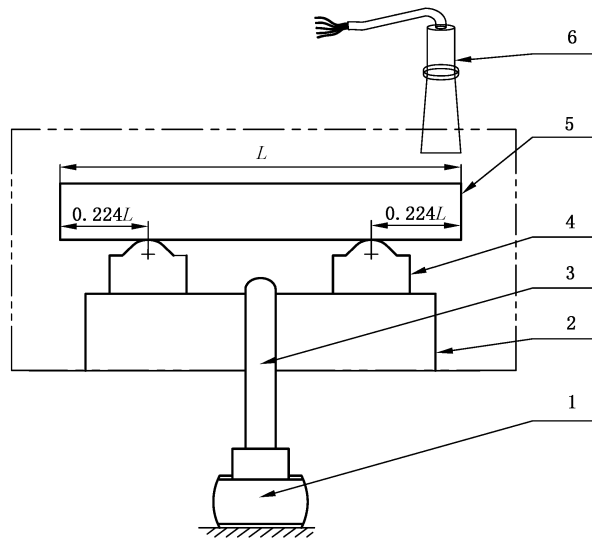
8.2 试样质量和尺寸测定

用电子天平称量试样的质量,精确到 0.01 g,用游标卡尺测量试样长度、宽度和厚度,精确到 0.02 mm。

8.3 装样

将准备好的试样,轻轻地置于试样支撑装置上,使试样两端距支撑点的距离为 $0.224L$ 。调整高温传感器,使传感器位于试样的反节点处,如图 2 所示。试样与发热体之间距离应不小于 50 mm;多块试样测试时,试样之间的间距应不小于 30 mm。

调整冲击器的敲击力度,测试并记录室温下试样的弯曲共振频率。



说明：

- 1——冲击器；
- 2——高温平台；
- 3——冲击杆；
- 4——支撑装置；
- 5——试样；
- 6——高温传感器。

图 2 试样放置示意图

8.4 加热

8.4.1 按试样材质控制试验炉内气氛,以 4 °C/min~5 °C/min 的升温速率将试样加热到试验温度,或按产品的技术条件规定或相关方协商的升温速率加热试样至试验温度,升温速率应在试验报告中注明。

8.4.2 将试样加热到试验温度时开始保温计时。对于烧成耐火材料保温时间为 30 min。热处理过的不定形耐火材料保温时间为 30 min;未热处理的不定形材料的保温时间可为 60 min,也可由相关方协商确定。保温时间和不定形材料的热处理条件应在试验报告中注明。

8.5 共振频率的测定

8.5.1 达到预设的保温时间后,轻轻敲击试样的反节点位置,见图 2。

8.5.2 记录从信号分析系统中读取的频率。

9 结果计算

9.1 高温杨氏模量计算

高温杨氏模量的计算需要考虑试样热膨胀因素的影响,其计算公式如式(1):

$$E_T = E_0 \left(\frac{f_T}{f_0} \right)^2 \left[\frac{1}{1 + \alpha(T_T - T_0)} \right] \dots\dots\dots(1)$$

式中:

E_T ——在温度 T 下的杨氏模量,单位为帕(Pa);

E_0 ——常温杨氏模量,单位为帕(Pa);

f_T ——温度 T 下试样的弯曲共振频率,单位为赫兹(Hz);

f_0 ——常温下试样的弯曲共振频率,单位为赫兹(Hz);

α ——试样的平均线膨胀系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$)。

T_T ——试验温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);

T_0 ——室温温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

9.2 常温杨氏模量计算

9.2.1 长条状试样

9.2.1.1 长条状试样杨氏模量 E_0 计算公式:

$$E_0 = 0.946 \ 5 \left(\frac{m f_0^2}{b} \right) \left(\frac{L^3}{t^3} \right) T_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$T_1 = 1 + 6.585(1 + 0.075 \ 2\mu + 0.810 \ 9\mu^2) \left(\frac{t}{L} \right)^2 - 0.868 \left(\frac{t}{L} \right)^4 - J \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$J = \frac{\left[8.340(1 + 0.202 \ 3\mu + 2.137\mu^2) \left(\frac{t}{L} \right)^4 \right]}{\left[1 + 6.338(1 + 0.140 \ 8\mu + 1.536\mu^2) \left(\frac{t}{L} \right)^2 \right]} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

E_0 ——常温杨氏模量,单位为帕(Pa);

m ——试样的质量,单位为克(g);

b ——试样的宽度,单位为毫米(mm);

L ——试样的长度,单位为毫米(mm);

t ——试样的厚度,单位为毫米(mm);

f_0 ——常温下试样的弯曲共振频率,单位为赫兹(Hz);

T_1 ——试样的有限宽度与泊松比等因素对弯曲基谐振动模式影响的校正系数;

J ——与试样长度、厚度及泊松比有关的校正参数;

μ ——泊松比。

9.2.1.2 如果 $L/t \geq 20$,则式(3)可简化为:

$$T_1 = 1.000 + 6.585 \left(\frac{t}{L} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

T_1 ——试样的有限宽度与泊松比等因素对弯曲基谐振动模式影响的校正系数;

L ——试样的长度,单位为毫米(mm);

t ——试样的厚度,单位为毫米(mm);

按式(2)计算出 E_0 。

9.2.1.3 如果 $L/t < 20$ 且泊松比已知, T_1 通过式(3)计算,然后代入式(2)计算出 E_0 。

9.2.2 圆柱状试样

9.2.2.1 圆柱状试样杨氏模量 E_0 计算公式:

$$E_0 = 1.606 \ 7 \left(\frac{L^3}{D^4} \right) (m f_0^2) T_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$T_1 = 1 + 1.493 \ 9(1 + 0.075 \ 2\mu + 0.810 \ 9\mu^2) \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 0.488 \ 3 \left(\frac{D}{L} \right)^4 - J \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$J = \frac{\left[4.691(1 + 0.2023\mu + 2.137\mu^2) \left(\frac{D}{L}\right)^4 \right]}{\left[1 + 4.754(1 + 0.1408\mu + 1.536\mu^2) \left(\frac{D}{L}\right)^2 \right]} \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- E_0 ——杨氏模量,单位为帕(Pa);
- m ——试样的质量,单位为克(g);
- L ——试样的长度,单位为毫米(mm);
- D ——试样的直径,单位为毫米(mm);
- f_0 ——试样的弯曲基谐共振频率,单位为赫兹(Hz);
- T_1 ——试样的有限宽度与泊松比等因素对弯曲基谐振动模式影响的校正系数;
- J ——与试样长度、直径及泊松比有关的校正参数;
- μ ——泊松比。

9.2.2.2 如果 $L/D \geq 20$,则式(7)可简化为:

$$T_1 = 1.000 + 1.4939 \left(\frac{D}{L}\right)^2 \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- T_1 ——试样的有限宽度与泊松比等因素对弯曲基谐振动模式影响的校正系数;
- L ——试样的长度,单位为毫米(mm);
- D ——试样的直径,单位为毫米(mm)。

按式(6)计算出 E_0 。

9.2.2.3 如果 $L/D < 20$ 且泊松比已知, T_1 通过式(7)计算,然后代入式(6)计算出 E_0 。

9.3 结果表述

结果按 GB/T 8170 修约至 1 位小数。

10 试验报告

试验报告包括以下内容:

- a) 测试试样的全部必要信息。
- b) 执行标准名称,即 GB/T 34186—2017。
- c) 试验细节,包括:
 - 1) 试样数量;
 - 2) 试样质量、形状尺寸、热处理条件;
 - 3) 升/降温速率;
 - 4) 试验温度(°C)和保温时间(min);
 - 5) 试验炉气氛。
- d) 试验结果,按第 9 章中指定的公式进行计算,包括单独计算的结果、测定的固有振动频率及计算得出的动态杨氏模量。
- e) 委托单位名称。
- f) 试验开始和结束的时间、日期。

附 录 A
(资料性附录)
试验精度影响因素

根据计算公式分析试验结果的误差分布情况,影响因素包括试样的尺寸、质量及其共振频率的测量。表 A.1 中显示了 1% 的测量误差对试验结果的影响。

表 A.1 测量误差引起材料杨氏模量的变化

变量	测量误差/%	公式中的变量指数	杨氏模量误差/%
频率(f)	1	f^2	2
长度(L)	1	L^3	3
质量(m)	1	m	1
宽度(b)	1	b^{-1}	1
厚度(t)	1	t^{-3}	3
直径(D)	1	D^{-4}	4
