

中华人民共和国国家标准

GB/T 30758—2014/ISO 12680-1:2005

耐火材料 动态杨氏模量试验方法 (脉冲激振法)

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

(ISO 12680-1:2005, IDT)

2014-06-09 发布

2014-12-01 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。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 12680-1:2005《耐火材料 动态杨氏模量试验方法(脉冲激振法)》,为了便于使用,本标准做了下列编辑性修改:

- 调整了相关条目顺序,使文本中定义之间的关系更加明确;
- 将 3.11 中的内容合并到 8.1 中;
- 删除了 6.1 中指明参照的有关激振设备信息的介绍;
- 增加了公式中 E 、 J 及 E_T 的注释。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 10325 定形耐火制品验收抽样检验规则 (GB/T 10325—2012,ISO 5022:1979,NEQ)
- GB/T 17617 耐火原料和不定形耐火材料 取样 (GB/T 17617—1998,neq ISO 8656-1:1988)

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。

本标准主要起草人:宋艳艳、谭丽华、李永刚、刘祎冉。

耐火材料 动态杨氏模量试验方法 (脉冲激振法)

1 范围

本标准规定了通过测定长条状和圆柱状耐火制品试样在弯曲振动状态下的共振频率,由制品的共振频率、质量和尺寸计算其杨氏模量的试验方法。

注:尽管本标准没有明确描述,采用合适的测试仪器时此方法也适用于高温杨氏模量的测定。

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人身安全条例并确定其限定的范围。

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。

ISO 5022:1979 定形耐火制品 抽样验收规则 (Shaped refractory products—Sampling and acceptance testing)

ISO 8656-1:1988 耐火制品 原料和不定形材料抽样 第1部分:抽样方案 (Refractory products—Sampling of raw materials and unshaped products—Part 1:Sampling scheme)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弹性模量 modulus of elasticity; MOE

低于比例极限下,材料应力与应变的比值。

3.2

比例极限 proportional limit

材料不偏离应力与应变比值(胡克定律)曲线的情况下,所能够承受的最大应力值。

3.3

均一性 homogeneous

结构、密度和材质相同。

注:均一性要求所取得的小试样能代表原砖的整体特点,对于耐火材料,只要试样的尺寸比内部大颗粒、晶体、气孔和微裂纹尺寸大,试样就被认为是均一的。

3.4

各向同性 isotropic

试样的弹性性能在所有方向上都是相同的。

3.5

共振频率 resonant frequency

试样受弯曲振动时发生共振的频率。

注:共振频率一般由试样的弹性模量、质量和试样尺寸决定,在振动模式中,最低的共振频率为材料的固有频率。

3.6

弯曲振动 flexural vibrations

长条状或者圆柱状试样受微小弯曲应力作用的一种振动。

3.7

节点 nodes

试样振动过程中振幅为零的位置。

注：对于试样的固有弯曲频率，节点一般在距试样一端距离为 $0.224L$ 处，其中 L 为试样长度。

3.8

反节点 anti-nodes

不受约束的长条状或圆柱状试样受振后的最大振幅点位置，一般反节点位置有两个或者更多。

注：共振时，反节点一般位于试样的两端和中心部位。

3.9

平面弯曲 in-plane flexure

试样弯曲方向平行于其主平面。

3.10

垂面弯曲 out-plane flexure

试样弯曲方向垂直于其主平面。

4 原理

冲击器敲击合适几何形状的试样后，测试试样的弯曲共振频率。

传感器(接触式或非接触式)接收试样的振动信号并将其转化为电信号，选择合适的试样支撑位置、敲击位置与信号接收点接收试样的振动信号，通过信号分析器分析得出试样的固有振动频率，将获得的固有振动频率、试样尺寸和质量代入公式计算得出试样的动态杨氏模量。

5 意义和用途

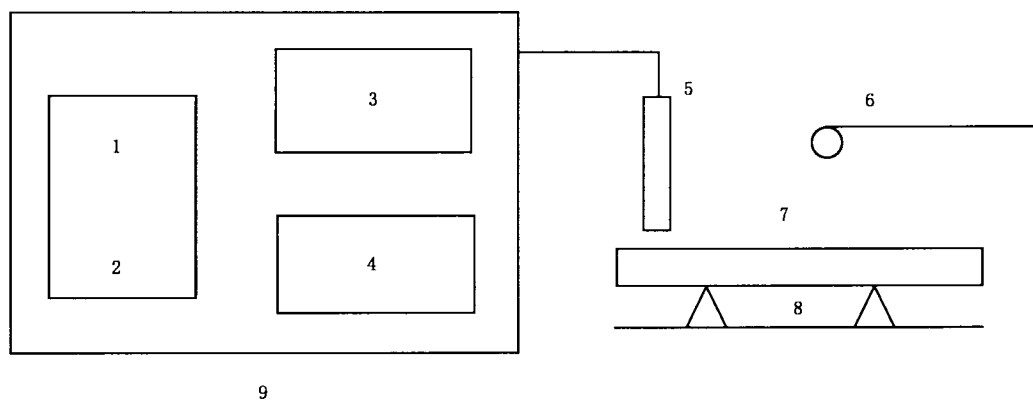
意义和用途如下：

- a) 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；
- b) 适用于测试均一性耐火材料的杨氏模量；
- c) 为动态测试方法，可测试长条状和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，如对面平行的长条状和圆柱状，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，因此试样应被合适放置，确保其能自由振动。

6 设备

6.1 激振设备

激振设备用于激发试样振动,然后精确探测、分析和记录试样的固有频率或周期。图1为该设备的结构原理图,包括冲击器、传感器(将机械振动转换为电信号)、电信号分析系统(包括信号放大器、信号分析器和频率读出装置)。



说明:

- 1——频率显示;
- 2——频率读出;
- 3——信号放大器;
- 4——信号分析器;
- 5——传感器;

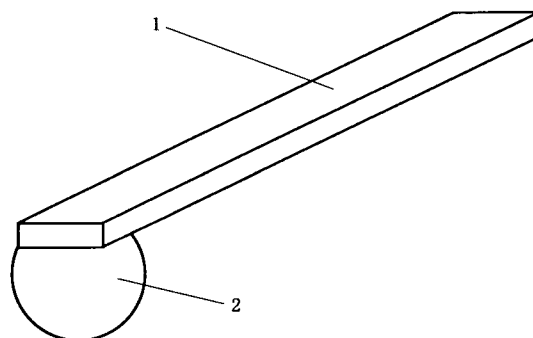
- 6——冲击器;
- 7——试样;
- 8——支撑系统;
- 9——电气系统。

图1 试验设备结构原理图

6.2 冲击器

冲击器的重量应满足给予试样的振动信号足够大,达到可测量的机械振动信号;但也不宜过大,以防对试样造成物理损坏或使试样移动。典型的冲击器见图2。

注:冲击器的大小取决于被测试样的大小和物理特性。



说明:

- 1——韧性聚合物手柄;
- 2——钢球或其他硬金属球。

图2 冲击器结构图

6.3 信号接收系统

试样受到冲击后振动信号由接触式或非接触式传感器直接接收。一般接触式传感器采用压电传感器或者应变仪测试振动；非接触式传感器可采用声波麦克风、激光、磁性或电容方法。传感器的频率范围应满足所测试样的固有频率。普通耐火材料的频率范围一般在 50 Hz~20 kHz 之间。强度大的小样品振动频率较高。传感器最大可接收频率在 -3 dB, 功率损耗发生之前应至少大于频率测量量程的 10%。

6.4 信号分析系统

本系统包括信号放大/调节、信号分析及频率读出等功能。信号放大器能调节信号的大小, 满足信号分析系统的正常分析; 信号分析系统能保证信号的正确分析及读取, 信号分析精度应达到 0.1%。配备有存储功能或者数字存储示波器来记录测试频率, 具有快速傅立叶转换功能, 能分析更复杂的波形和识别试样的固有共振频率。

6.5 试样支撑

支撑系统应保证试样受到外部冲击时能自由振动, 支撑材料在试验温度下应保持稳定。在试验温度下, 支撑材料可为软质材料或者硬质材料。软质材料, 如表面平滑的聚亚胺酯泡沫条, 应采用软质材料的光滑面支撑试样; 硬质材料, 应选用切口整齐或圆柱形支承的金属或陶瓷制品, 硬质支撑材料应放置在隔离垫上以防止对传感器接收频率的扰动。也可使用悬线式试样支撑方法, 试样支撑点应在距试样两端 0.224L 处。

7 试样选取

样品的选取依据 ISO 5022:1979 和 ISO 8656-1:1988。

8 试样规格

8.1 试样形状

试样可以是简单的长条状或圆柱状, 试样的长宽比不小于 3, 长厚比不小于 5。

8.2 试样尺寸

试样的共振频率与其尺寸、质量及弹性模量有一定的函数关系。首先粗略估计材料弹性模量, 确定试样的尺寸, 使试样的固有频率在传感器要求的频率范围内, 且试样的最小尺寸至少是试样中最大颗粒的 4 倍。

注: 推荐试样尺寸为 160 mm×40 mm×(25~30)mm。

8.3 试样表面处理

试样表面应平滑, 试样的长、宽和厚方向的平行度偏差不超过 1%, 圆柱状试样的直径偏差不应超过 1%。

9 试验步骤

9.1 试样质量和尺寸测定

测量试样质量和尺寸,质量测试精确度应在 $\pm 0.2\%$ 以内,试样长、宽和厚测试精确度应在 $\pm 0.2\%$ 以内。

9.2 运行电气设备

打开设备的电气控制开关,让设备运行稳定(应按厂家建议执行操作)。

9.3 检验设备稳定性

利用已知杨氏模量的试样检验设备的稳定性。

9.4 共振频率的测定(垂面弯曲)

9.4.1 把试样放置在它的弯曲节点处,如距离试样两端 $0.224L$ 处,如图 3 所示,也可把试样直接放在泡沫衬垫上。

9.4.2 确定传感器的最大灵敏度方向,固定传感器,使其能以最大灵敏度测试试样的机械振动。

a) 接触式传感器:传感器的位置与要获得的振动信号密切相关。传感器不应放置在反节点(振幅最大)处,以防自身质量改变试样的固有频率。传感器应放置在尽可能远离节点及反节点的地方,能确保获得足够信号即可。传感器的合适放置位置见图 3,这个位置将使传感器阻抗影响降至最小。

b) 非接触式传感器:传感器放置在反节点的正上方。为了获得更准确的信号,应尽可能地接近试样表面,但不能影响试样的自由振动(见图 3)。

9.4.3 轻轻敲击试样的正中心或中心对面,敲击位置见图 3。

9.4.4 记录从频率分析器中读取的数据,重复敲击和记录数据,直到 5 个读数之间的偏差在 1% 以内,取这 5 个数据的平均值即为试样的固有弯曲共振频率。

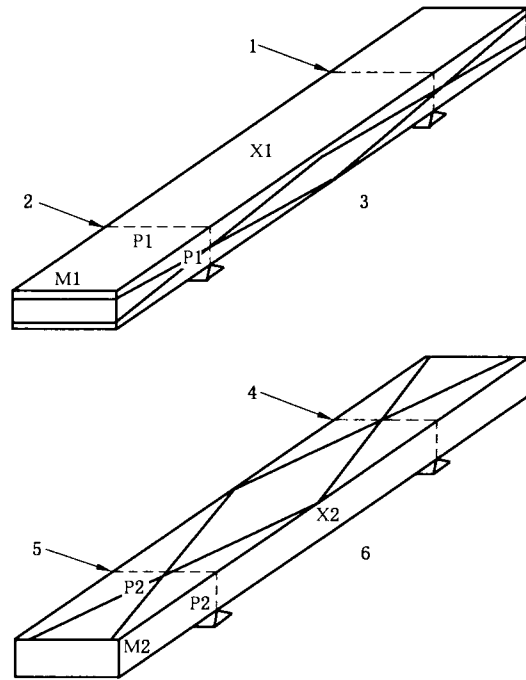
9.5 弯曲频率的测定(平面弯曲)

按照 9.4 测量试样的固有弯曲频率,可由以下两种方式测试(见图 3):

a) 在与试样长度垂直的方向旋转传感器和小锤 90° ,然后测量其弯曲频率;

b) 直接沿与试样长度垂直的方向旋转试样 90° ,再重新放置,然后测量其弯曲频率。

将试样的质量、长度、宽度、厚度以及所测得的弯曲频率代入计算公式,计算得出试样的弯曲模量。如果试样是均一的、各向同性的,由垂面弯曲和平面弯曲获得的频率所计算的弯曲模量应该是相同的。因此,比较平面弯曲与垂面弯曲模量的测量结果可以检验试验方法与计算结果。



说明:

1,2,4,5——弯曲节点连线;

3——垂面弯曲;

6——平面弯曲;

X1——垂面脉冲点;

P1——接触式传感器接收点;

M1——非接触式传感器接收点;

X2——平面脉冲点;

P2——接触式传感器接收点;

M2——非接触式传感器接收点。

图3 试样垂面和平面弯曲模式

10 计算

10.1 长条状试样

10.1.1 长条状试样杨氏模量 E 计算方法见式(1):

$$E = 0.9465 \left(\frac{mf_1^2}{b} \right) \left(\frac{L^3}{t^3} \right) T_1 \dots\dots\dots(1)$$

式中:

E ——杨氏模量,单位为帕斯卡(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_1 ——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。

T_1 计算方法见式(2):

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

式中:

J ——与试样长度、厚度及泊松比有关的校正参数。

J 计算方法见式(3):

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

式中:

μ ——泊松比。

10.1.2 如果 $L/t \geq 20$, 则 T_1 计算方法可简化为式(4):

$$T_1 = \left[1.000 + 6.585 \left(\frac{t}{L}\right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots(4)$$

10.1.3 如果 $L/t < 20$ 且泊松比已知, T_1 通过式(2)计算, 然后代入式(1)计算出杨氏模量 E 。

注: 频率 f_1 为弯曲频率。

10.1.4 杨氏模量可通过已设定的泊松比和已测得的弯曲共振频率计算得出, 除非泊松比已知或其他方式给出, 依据大部分耐火材料的特性, 泊松比设定为 0.15。

10.2 圆柱状试样

10.2.1 圆柱状试样杨氏模量 E 计算方法见式(5):

$$E = 1.606 7 \left(\frac{L^3}{D^4}\right) (mf_1^2) T_1 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

E ——杨氏模量, 单位为帕斯卡(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_1 ——试样的弯曲基谐共振频率, 单位赫兹(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。

T_1 计算方法见式(6):

$$T_1 = 1 + 1.493 9(1 + 0.075 2\mu + 0.810 9\mu^2) \left(\frac{D}{L}\right)^2 - 0.488 3 \left(\frac{D}{L}\right)^4 - J \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

J ——与试样长度、直径及泊松比有关的校正参数。

J 计算方法见式(7):

$$J = \frac{\left[4.691(1 + 0.202 3\mu + 2.137\mu^2) \left(\frac{D}{L}\right)^4 \right]}{\left[1 + 4.754(1 + 0.140 8\mu + 1.536\mu^2) \left(\frac{D}{L}\right)^2 \right]} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

μ ——泊松比。

10.2.2 如果 $L/D \geq 20$, 则 T_1 计算方法可简化为式(8):

$$T_1 = \left[1.000 + 1.493 9 \left(\frac{D}{L}\right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots(8)$$

10.2.3 如果 $L/D < 20$ 且泊松比已知, T_1 通过式(6)计算, 然后代入式(5)计算出杨氏模量 E 。

注: 频率 f_1 为弯曲频率。

10.3 选择性计算

10.3.1 弯曲共振频率计算

杨氏模量可通过假定的泊松比和已测得的弯曲共振频率计算得出,除非泊松比已知或通过其他方式给出,依据大部分耐火材料的特性,泊松比设定为 0.15。

10.3.2 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,其计算方法见式(9):

$$E_T = E_0 \left(\frac{f_T}{f_0} \right) \left[\frac{1}{1 + \alpha(T_T - T_0)} \right] \dots\dots\dots(9)$$

式中:

- E_T —— 高温杨氏模量(T_T),单位为帕斯卡(Pa);
- E_0 —— 室温杨氏模量(T_0),单位为帕斯卡(Pa);
- f_T —— 高温下试样的弯曲共振频率,单位赫兹(Hz);
- f_0 —— 室温下试样的弯曲共振频率,单位赫兹(Hz);
- α —— 试样的平均线膨胀系数,单位为摄氏度分之一($^{\circ}\text{C}^{-1}$)。

11 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 30758—2014/ISO 12680-1:2005;
- c) 试验细节包括:
 - 1) 试样数量;
 - 2) 试样尺寸、形状;
 - 3) 试样制备过程及对试样的处理;
 - 4) 试验温度;
 - 5) 参与计算的泊松比及获得方式;
- d) 试验结果,按第 10 章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) 在测试过程中观察试样的表现性能,有助于试验结果的解释;
- f) 委托单位名称;
- g) 特殊过程的偏离值;
- h) 试验过程中的异常现象;
- i) 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 测量误差引起材料弹性模量的变化

变量	测量误差/%	公式中的 变量指数	弹性模量误差/%
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

中华人民共和国
国家标准
耐火材料 动态杨氏模量试验方法
(脉冲激振法)

GB/T 30758—2014/ISO 12680-1:2005

*

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

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

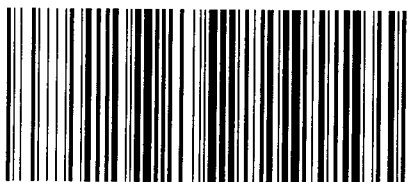
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 18 千字
2014年7月第一版 2014年7月第一次印刷

*

书号: 155066·1-49619 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 30758-2014