

## 耐火材料荷载下热膨胀率的测试

王秀芳

国家耐火材料质量监督检验中心 河南洛阳 471039

**摘要** 介绍了耐火材料一种新的热膨胀率的测试方法——荷载下热膨胀率的测试,并以硅砖为例进行了不同荷载下热膨胀率的测试,并与顶杆法热膨胀率测试结果进行比较,表明两者的结果具有可比性,可以用荷软蠕变仪来测定材料在不同荷载下的热膨胀率。

**关键词** 耐火材料,荷载,热膨胀率,荷软蠕变仪

对耐火材料来说,顶杆法是目前国内测定热膨胀率常用的方法。该方法仅测定材料在无荷载情况下的膨胀量,而耐火材料在实际应用中需要承受一定的荷载,了解它在荷载状态下的膨胀,对窑炉的使用寿命、使用状态以及在使用过程中的变形均有重要作用。英国、德国等均将其列为研究对象,制定了相应的标准(见 EN 993-19:2004)。目前,国内很多客户在耐火材料出口时要求提供此项指标,国外窑炉公司为国内设计的窑炉在施工过程中也要求对此项指标进行检验。

高温下耐火制品承受规定荷载的能力是衡量材料高温状态下使用潜能。采用本方法,在温度升高过程中,耐火制品在施加规定荷载时承受变形的能力可以定量地进行测量。

## 1 测试原理及试验过程

利用荷软蠕变仪测定荷载下的热膨胀。对试样的要求如下:外形为中心带通孔的圆柱体,其直径 $(50 \pm 0.5)$  mm,高 $(50 \pm 0.5)$  mm,中心通孔直径12~13 mm,与圆柱体同轴。试样的轴向与制品的压制方向一致。将圆柱体试样放入炉内,以规定的压应力施压,并安放连续测量平行于试样压应力方向线变化的传感器。当炉子以受控速率加热施压时,连续记录试样的温度和线变化率。

该方法可用于鉴定耐火材料在其均匀受热时的荷载能力。试验所施加的荷载和加热速率是影响测试结果的重要参数。按目前设备的配置,最大荷载可施加至0.4 MPa左右,最小荷载为0.01 MPa(实际就是将试样固定),荷载大小可根据需要来施加。由于目前国内大多数高温试验炉的升温速率在 $5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 左右,因此,本方法规定升温速率为 $(5 \pm 0.5) \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

## 2 试验方案的设计

选择烧结良好的硅砖作为试验材料,在室温~1600 $^\circ\text{C}$ 分别测试了不同荷载下的热膨胀率。作为对比,在同一块砖上也切取了试样,按顶杆法(见 GB/T 7320.1-2000)进行热膨胀率的测定。试验过程如下:

(1) 分别进行0.2、0.4 MPa 荷载下的重复性试验,以了解此方法的稳定性;

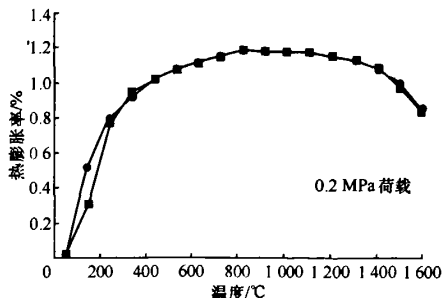
(2) 分别测定0.01、0.2、0.4 MPa 荷载下的热膨胀率,了解荷载大小对测定结果的影响;

(3) 分别测定0.01 MPa 荷载下的荷载法热膨胀率及顶杆法热膨胀率,了解两种方法之间的差异。

## 3 结果与讨论

图1为同硅砖分别在0.2和0.4 MPa 荷载下的重复性测试结果(升温速率 $5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ )。从图中可以看出,荷载法测试结果的重复性良好。

图2为同一硅砖在不同荷载(分别为0.01、0.2、0.4 MPa)下的测试结果比较。可以看出,随着荷载的增加,热膨胀率减小。这与实际情况相吻合。



\* 王秀芳:女,1966年生,教授级高级工程师。  
E-mail: zj\_wangxf@163.com  
收稿日期:2009-03-26

编辑:柴剑玲

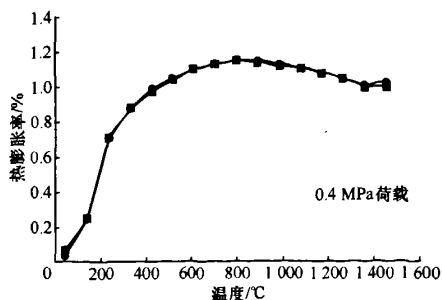


图1 荷载法测试的重复性试验结果(升温速率 5 °C · min<sup>-1</sup>)

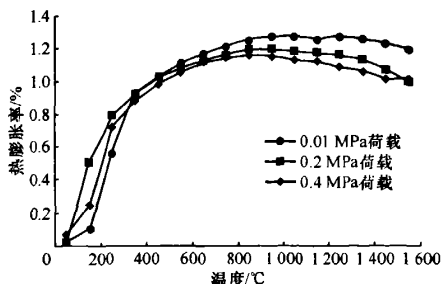


图2 荷载大小对热膨胀测试结果的影响(升温速率 5 °C · min<sup>-1</sup>)

图3为同一硅砖用不同方法(荷载法和顶杆法)测试的结果比较。从图中可以看出,由于两种方法所用的试验设备不同,测试结果有一定的差异:低于300 °C时,示差法所测结果明显大于顶杆法的;而高于300 °C后,两种方法所测的结果一致性较好。这是由于,对荷载法膨胀测试设备——荷软蠕变试验仪来说,所测温度是中心热电偶显示的温度,而中心热电偶与控

温热电偶由于位置的关系,二者在低温下有较大的差异,中心热电偶温度明显滞后;但对于顶杆法膨胀率的测试设备来说,不存在这个问题。

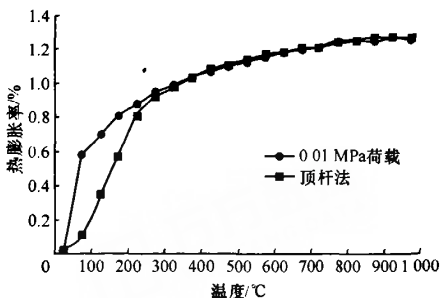


图3 不同方法的热膨胀测试结果比较(升温速率 5 °C · min<sup>-1</sup>)

### 4 结语

(1) 提供了一种新的热膨胀测试方法。荷载法和顶杆法热膨胀率的测定设备虽然不同,但均是采用以刚玉为示差系统的示差法,测试原理是一样的,可以用荷软蠕变仪来测定材料在不同荷载下的热膨胀率。

(2) 采用荷载法测定材料的热膨胀率,可以了解材料在高温和荷载共同作用下的膨胀性能,对预测窑炉的使用寿命、使用状态以及在使用过程中的变形均有重要作用。

荷载下热膨胀率的测试由中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司的何涛进行,顶杆法热膨胀率的测试由国家耐火材料质量监督检验中心的袁晓萍进行。在此表示感谢。

### · 研究动态 ·

#### 炼铝工业用高抗热震性硅灰石内衬材料

硅灰石是一种抗热震性、抗铝液侵蚀和抗碱侵蚀性好的材料。工业使用的硅灰石矿物一般纯度较高,其矿石中主要含有硅灰石相,还有少量的石榴石杂质。

在研制硅灰石制品时,主原料采用纯度较高的硅灰石,其主要化学组成(w)为:SiO<sub>2</sub> 48.21%, CaO 47.55%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.43%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.63%;结合剂采用石灰-氧化硅系统,其中的含硅原料采用硅藻土和硅微粉,由于硅藻土具有较多的天然气孔和较大的无定形表面的吸附能力,具有较高的水化活性,而呈0.1~0.4 μm微粒聚集体的硅微粉微粒细小,因此采用硅藻土和硅微粉作为结合剂中反应活性SiO<sub>2</sub>成分。在模拟石灰和SiO<sub>2</sub>的反应条件下,通过计算饱和石灰溶液中含硅原料的活性来确定SiO<sub>2</sub>的含量。计算表明,石灰和SiO<sub>2</sub>的最佳质量比为50:50。

使用石灰-氧化硅结合剂和硅灰石制备试样分2个阶段进行:第一阶段,用蒸汽进行湿热处理,以保证试样形成一定

的相组成、结构,并使其具有硅酸盐砖的性能;第二阶段,以5 °C · min<sup>-1</sup>的升温速率缓慢加热,在800 °C时保温1 h进行热处理,以保证在水泥化的硅酸盐水泥结合相中形成二次硅灰石,使制品的抗热震性得以提高。

将制成的试样加热到1000 °C后浸入到铝液中,其中一部分试样保持1 min后取出,在空气中快速冷却到25 °C,如此循环多次,观察试样裂纹情况;另一部分试样在铝液中浸渍12 h后随炉自然冷却,发现试样能从溶液中自由取出,没有粘附铝液的痕迹。

试验结果表明,所研制的石灰-氧化硅结合的硅灰石制品在和铝液接触试验中具有较好的抗热震性和抗铝液浸润性,10次插入铝液中仍没有出现裂纹,试样的润湿角在100~150°之间。可见,这是一种具有较好抗热震性和抗铝液侵蚀性的硅灰石内衬材料。

(程庆先编译自俄刊《新型耐火材料》2009, No4)

# 耐火材料荷载下热膨胀率的测试

作者: [王秀芳](#)  
作者单位: [国家耐火材料质量监督检验中心, 河南, 洛阳, 471039](#)  
刊名: [耐火材料](#) ISTIC PKU  
英文刊名: [REFRACTORIES](#)  
年, 卷(期): 2009, 43 (6)

## 本文读者也读过(10条)

1. [张亚静](#) [耐火材料热膨胀试验方法解析](#)[期刊论文]-[耐火材料](#)2007, 41(4)
2. [孔松涛](#). [蔡萍](#). [王堃](#). [张美杰](#). [KONG Songtao](#). [CAI Ping](#). [WANG Kun](#). [ZHANG Meijie](#) [声发射预测钢包耐火材料的破损](#)[期刊论文]-[压电与声光](#)2010, 32(2)
3. [周会俊](#). [刘鹏](#). [王龙光](#) [高温刚玉——莫来石棚板的生产与应用](#)[期刊论文]-[佛山陶瓷](#)2008, 18(10)
4. [王本辉](#). [梁献雷](#). [彭西高](#). [曹海洁](#). [WANG Ben-hui](#). [LIANG Xian-lei](#). [PENG Xi-gao](#). [CAO Hai-jie](#) [电感耦合等离子体原子发射光谱法测定镁质耐火材料中次量及微量成分](#)[期刊论文]-[冶金分析](#)2009, 29(2)
5. [Philippe Guillo](#). [José Sim\(o\)es](#) [钢水边际成分变化所产生的夹杂物组分变化对钢水可浇铸性的影响](#)[期刊论文]-[钢铁](#)2004, 39(z1)
6. [张丽鹏](#). [吴永霞](#). [魏明坤](#) [SiC质耐火材料的氧化机理](#)[期刊论文]-[现代技术陶瓷](#)2002, 23(3)
7. [王允新](#). [李振](#). [解西军](#). [吴吉玉](#). [王敬兰](#) [蓝晶石中黄玉矿相危害的有效控制及低蠕变砖产品系列化](#)[会议论文]-2002
8. [赵维平](#). [王练](#) [高温蠕变仪试验误差讨论](#)[期刊论文]-[计量与测试技术](#)2010, 37(4)
9. [王浩](#). [王宁](#). [周丽玮](#). [李海舰](#) [关于简化硅砖真密度测试方法的探讨](#)[期刊论文]-[现代技术陶瓷](#)2004, 25(3)
10. [蔡艳芝](#). [杨彬](#). [王刚](#). [Cai Yanzhi](#). [Yang Bin](#). [Wang Gang](#) [莫来石及其复相材料的工艺、显微结构与力学性能的关系](#)[期刊论文]-[中国陶瓷工业](#)2006, 13(2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_nhcl200906022.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl200906022.aspx)