

# 发泡法制备莫来石轻质耐火材料工艺研究

董童霖, 王玺堂, 程 鹏, 占 文, 周秀坤

(武汉科技大学耐火材料与高温陶瓷国家重点实验室培育基地, 湖北 武汉, 430081)

**摘要:**以黏土、工业氧化铝、石英砂为主要原料, 采用发泡法制备莫来石轻质耐火材料, 研究了发泡剂的种类、发泡工艺、耐火纤维加入量对莫来石轻质耐火材料性能的影响。结果表明, 以十二烷基苯磺酸钠等为发泡剂, 其加入量为 1% 时, 试样的容重最轻; 加入糊精可以提高试样烧结后的强度, 最佳加入量为 5%; 而搅拌时间为 8~11 min 或发泡温度为 50 ℃ 时, 试样烧结后强度最大。引入硅酸铝耐火纤维对试样的容重和气孔率影响不大, 但可明显提高烧结后试样的强度, 其加入量以 1% 为宜。

**关键词:**轻质耐火材料; 莫来石; 发泡法

**中图分类号:**TF769.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3644(2009)02-0184-04

轻质耐火材料是热工设备必备的节能材料。目前国内生产的隔热耐火制品主要缺点是强度低、荷重软化点低和抗热震性差<sup>[1]</sup>。而轻质莫来石材料是比较理想的高温节能材料之一, 它具有热震稳定性好、耐高温等特点。当今国内外生产轻质耐火材料制品的方法有燃烧加入物法、化学法和发泡法<sup>[2]</sup>。燃烧加入物法制备的轻质耐火材料制品中拥有大量的微裂纹和弱接触点, 致使产品的强度低<sup>[3]</sup>; 化学法制备轻质耐火制品反应迅速, 生成的气泡不易控制; 而发泡法具有产生气泡微小且结构分布均匀、生产成本低和工艺简单等优点。为此, 本文采用发泡法制备莫来石轻质耐火材料制品, 并加入适量的硅酸铝耐火纤维, 以期提高制品的强度。

## 1 试验

### 1.1 原料

试验以工业氧化铝( $w(\text{Al}_2\text{O}_3) > 99.3\%$ )、石英砂( $w(\text{SiO}_2) > 99.35\%$ )为主要原料, 苏州黏土为结合剂( $w(\text{Al}_2\text{O}_3) > 30\%$ )和十二烷基苯磺酸钠(简称 SDBS)<sup>[4]</sup>、AC、铝粉为发泡剂, 外加剂有减水剂和稳泡剂。试验基本配方如表 1 所示。

表 1 试验原料配方( $w_b/\%$ )

Table 1 Mixture ratio of experimental material

配方	工业氧化铝	石英砂	苏州黏土	减水剂	稳泡剂	发泡剂
1#	59.4	15.6	25	0.6	5	适量

收稿日期: 2008-10-10

作者简介: 董童霖(1983-), 男, 武汉科技大学硕士生, E-mail: dongtonglin2005@126.com

通讯作者: 王玺堂(1957-), 男, 武汉科技大学教授, 博士生导师, E-mail: whwxt888@163.net

### 1.2 试验过程

将原料在振动球磨机中共同磨细, 时间为 1 h。将共同磨细的混合料在搅拌机中加水搅拌, 并加入发泡剂、减水剂和稳泡剂等<sup>[5]</sup>。制好的泥料在 25 mm × 25 mm × 125 mm 的模具中成型。成型的试样自然干燥 1 d 后脱模。然后在干燥箱内干燥, 其干燥制度为 30 ℃ × 3 h、50 ℃ × 3 h、80 ℃ × 6 h 和 110 ℃ × 12 h。

干燥后的试样在电炉中烧成, 烧成制度为: 以 4 ℃/min 的升温速率从室温升至 1 450 ℃, 保温时间为 3 h, 随炉冷却。按相关标准测定烧结后试样的容重、显气孔率和耐压强度。

## 2 结果与分析

### 2.1 发泡剂种类的选择

选用铝粉、偶氮二甲基酰胺(AC)和 SDBS 作为发泡剂, 研究了发泡剂种类对试样性能的影响, 其结果如表 2 所示。由表 2 可看出, 铝粉作发泡剂时, 试样的容重较大, 气孔率较小。由于铝粉发泡需要很准确的 pH 值<sup>[6]</sup>, 而本试验未进行 pH 值调节, 故其发泡效果不佳; 以 AC 或 SDBS 作为发泡剂, 发泡效果好。两种试样的容重、显气孔率相差不大。试验发现, SDBS 发泡量大, 产生的气泡孔径微小, 分布均匀, 价格便宜, 发泡时间短, 发泡量易于控制; 而 AC 发泡剂虽然发泡量大, 但其分解温度较高, 其遇碱分解产生氨气, 造成环境污染。因此综合考虑, 选择 SDBS 作为后续试验的

发泡剂。

表2 采用不同发泡剂时试样的容重

Table 2 Bulk density of samples prepared by different foaming agents

发泡剂种类	容重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	显气孔率/%
AC	0.91	70.2
铝粉	2.03	35
SDBS	0.82	68

2.2 发泡剂加入量对材料性能的影响

加入适量的 SDBS 发泡剂,在制备轻质耐火制品过程中发泡效果好,气泡量大且均匀。而加入过量 SDBS 发泡剂时,料浆在搅拌中产生过量泡沫,料浆内部的气泡破裂而大量排出,产生的气泡大且不均匀,成型后的试样在干燥过程中会出现严重的开裂、塌陷等现象,无法对其性能进行检测。

SDBS 加入量对烧结后试样的容重、显气孔率和耐压强度的影响如图 1 和图 2 所示。由图 1 和图 2 可知,随着 SDBS 发泡剂加入量的增加,试样的容重初始呈下降趋势。而 SDBS 发泡剂加入量超过 1% 时,试样容重略有上升。试样的耐压强度随着发泡剂加入量的增加而降低,即随着容

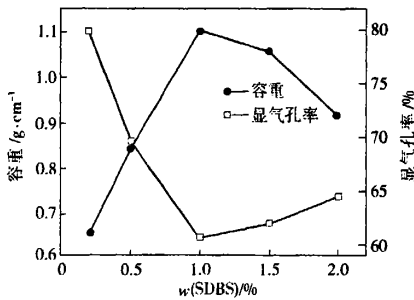


图1 SDBS 加入量对试样容重和显气孔率的影响  
Fig. 1 Effect of SDBS content on bulk density and apparent porosity of samples

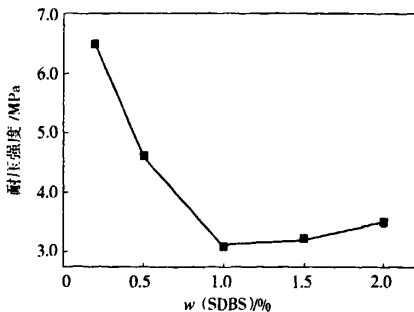


图2 SDBS 加入量对试样耐压强度的影响  
Fig. 2 Effect of SDBS content on compressive strength of samples

重的降低,试样耐压强度下降。试样的容重为  $0.65 \text{ g/cm}^3$  时,其耐压强度仍大于 3 MPa。

2.3 成型工艺对材料性能的影响

2.3.1 糊精加入量对材料性能的影响

为了延长泡沫的持久性,增加发泡剂的效率,采用糊精作为稳泡剂。糊精加入量对试样的容重和耐压强度的影响如图 3 和图 4 所示。由图 3 可看出,随着糊精加入量的增加,试样的容重总体上呈上升趋势,糊精加入量超过 5% 时,试样容重明显增加,这是因为糊精易溶于水,料浆黏度大,流动性差,使得发泡量减少,因而试样的容重增大。由图 4 可看出,随着糊精加入量的增加,试样的耐压强度有所提高,这是因为糊精增加了料浆的黏度,增强了试样结合力,提高了试样的烧结后强度。

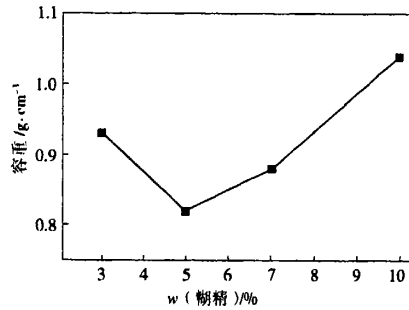


图3 糊精加入量对试样容重的影响  
Fig. 3 Effect of dextrin content on bulk density of samples

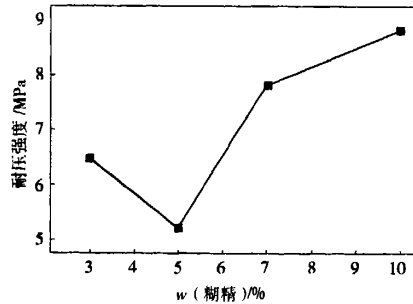


图4 糊精加入量对试样耐压强度的影响  
Fig. 4 Effect of dextrin content on compressive strength of samples

2.3.2 加水量对材料性能的影响

将原料在搅拌机中加水搅拌,并加入发泡剂、稳泡剂后制成泥料,再浇注成型制得轻质制品坯。因为加水量的多少对泥浆的黏度、流动性影响很大,会影响发泡效果,因而会影响试样烧结后的容重和强度。

加水量对试样的容重、显气孔率和耐压强度的影响如图 5 和图 6 所示。由图 5 和图 6 可看出,随着加水量的增加,试样容重呈直线递减,显

气孔率逐渐增大,耐压强度降低。这可能是随着加水量的增加,料浆具有良好的流动性和稳定性,气泡大量包裹在料浆里面。然而随着气孔大量增加,试样耐压强度明显降低,加水量达到60%时,试样耐压强度很小。同时随着加水量的增加,料浆黏度逐渐降低,稳定性遭到破坏,成型干燥后,试样收缩大,容易出现层裂现象,也会造成试样耐压强度降低。

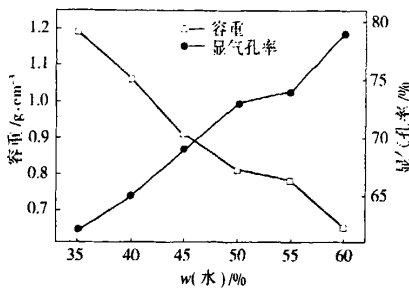


图5 加水量对试样容重和显气孔率的影响

Fig. 5 Effect of water content on bulk density and apparent porosity of samples

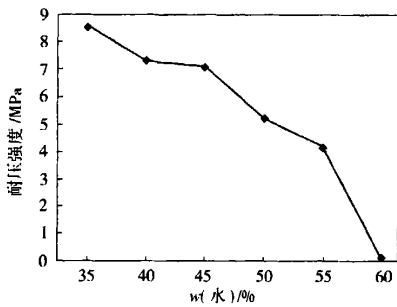


图6 加水量对试样耐压强度的影响

Fig. 6 Effect of water content on compressive strength of samples

2.3.3 搅拌时间对材料性能的影响

试样在制备过程中,泥浆的搅拌时间也会影响发泡剂的发泡效果,继而影响试样烧结后的强度。图7为搅拌时间对试样强度的影响。由图7可看出,随着搅拌时间的延长,试样的耐压强度基本上呈上升趋势,特别是当搅拌时间超过8min后,试样强度明显提高。由于随着搅拌时间的延长,结合剂溶解量增多,结合效果增强,因此试样强度增大。

2.3.4 加水温度对材料性能的影响

因为发泡剂的发泡效果和泥料中黏土结合剂的分散结合效果都与温度有很大的关系,因此研究了加水温度对试样耐压强度的影响,其结果如图8所示。由图8可看出,适当提高加水温度对试样耐压强度有一定改善。由于合适的温度使得

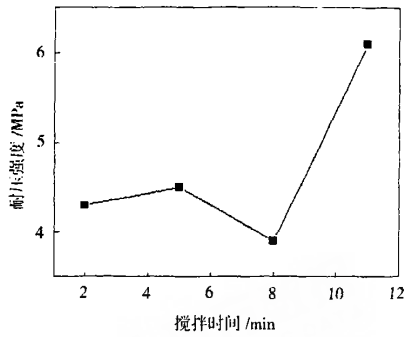


图7 搅拌时间对试样耐压强度的影响

Fig. 7 Effect of mixing time on compressive strength of samples

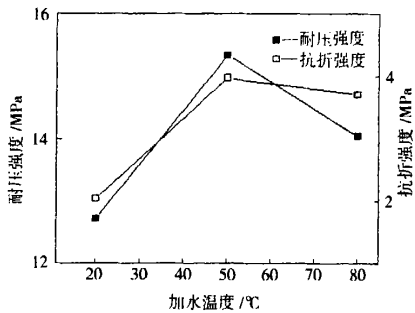


图8 加水温度对试样强度的影响

Fig. 8 Effect of water temperature on strengths of samples

试样中的黏土分散好,加入的糊精溶解量增大,故结合效果增强。当温度高于50℃时,由于气泡液膜上侧总是向上凸,这种弯曲膜对蒸发作用很敏感,温度越高蒸发越快,膜变薄到一定厚度时就会破裂,导致试样强度下降。总体来说,试验过程中适当提高原料搅拌时的温度,对改善试样的性能有利。

2.4 耐火纤维加入量对试样性能的影响

耐火纤维加入量对试样容重、耐压强度的影响如图9和图10所示。由图9和图10可看出,

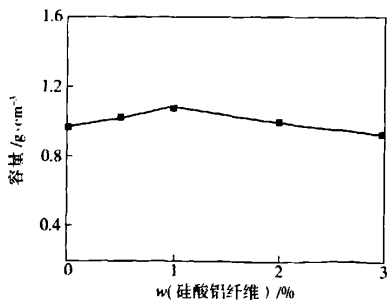


图9 硅酸铝纤维加入量对试样容重的影响

Fig. 9 Effect of alumina silicate fiber content on bulk density of samples

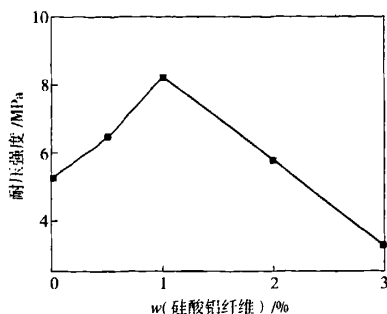


图 10 硅酸铝纤维加入量对试样耐压强度的影响

Fig. 10 Effect of alumina silicate fiber content on compressive strength of samples

硅酸铝纤维加入量对试样容重的影响不大,但是对试样的耐压强度影响明显。纤维加入量小于1%时,试样的耐压强度明显增大,这可能是因为加入适量的硅酸铝纤维在基体中起结合桥接作用。当裂纹尖端扩展时,很容易遇到弹性模量比基体大得多的硅酸铝纤维,这时裂纹将发生偏离,其将沿着纤维与基体的结合面(使纤维与基体界面发生解离)或在基体内扩展,使平面裂纹变成了非平面裂纹,其表面积和表面能显著增大,就能吸收更多的断裂功,因此材料耐压强度明显提高;但随着硅酸铝纤维的继续增加,硅酸铝纤维过多而难以分散,造成硅酸铝纤维发生团聚现象而使试样的耐压强度明显降低,材料性能下降。另外硅酸铝纤维过多,易形成大量空隙,这也是材料耐压强度下降的原因。

## Preparation of lightweight mullite refractory by foaming method

Dong Tonglin, Wang Xitang, Cheng Peng, Zhan Wen, Zhou Xiukun

(The State Key Laboratory Breeding Base of Refractories and Ceramics, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** Lightweight mullite refractory was prepared by foaming method using industrial aluminum hydroxide, industrial alumina, quartz powder and clay as raw materials. The influences of different types of foaming agent, foaming processes and alumina silicate fiber contents on the performance of the lightweight mullite material were investigated. The results show that the sintered samples have lower bulk density and higher strength using 1% SDBS as the foaming agent; dextrin addition can raise the strength of the sintered sample, whose best content is 5%, and the strength of the samples is the highest when the mixing time is 8~10 minutes or the foaming temperature is 50 °C. Addition of alumina silicate fiber into the samples hardly has any effect on the bulk density and the apparent porosity of the samples, yet the strength of the sintered samples can be improved obviously; the proper content of alumina silicate fiber is 1%.

**Key words:** lightweight refractory; mullite; foaming method

## 3 结论

(1)以黏土、工业氧化铝、石英砂为主要原料,采用发泡法可制备容重小、强度高的莫来石轻质耐火制品。

(2)发泡剂的种类和加入量明显影响试样的容重和耐压强度。采用 SDBS 作为发泡剂,其加入量为 1% 时,试样的容重轻,且具有较高的耐压强度;加入糊精作为泡沫稳定剂,可以提高试样的烧后强度。

(3)引入硅酸铝纤维对试样的容重和气孔率影响不大,但明显提高烧后试样的耐压强度。硅酸铝纤维适宜加入量为 1%。

## 参 考 文 献

- [1] 王玺堂,夏霞云. 纤维增强莫来石隔热材料的研制[J]. 耐火材料, 1998, 32(5): 280-282.
- [2] 袁新良. 轻质高铝砖的研制[J]. 佛山陶瓷, 1999(6): 11-12.
- [3] 贾诚. 泡沫陶瓷轻质隔热制品[J]. 河北陶瓷, 2000, 3(28): 30-31.
- [4] 陈海群,李英勇,朱俊武. 十二烷基磺酸钠改性蒙脱土的制备与表征[J]. 无机化学学报, 2004, 3(20): 251-255.
- [5] 张显,马林. 增孔剂对镁橄榄石质隔热耐火材料结构和性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2001(5): 55-56.
- [6] T Juettner, H Moertel, V Svinka. Structure of kaoline-alumina based foam ceramics for high temperature applications[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2007, 27: 1 435-1 441.

[责任编辑 徐前进]

# 发泡法制备莫来石轻质耐火材料工艺研究

作者: [董童霖](#), [王玺堂](#), [程鹏](#), [占文](#), [周秀坤](#), [Dong Tonglin](#), [Wang Xitang](#), [Cheng Peng](#),  
[Zhan Wen](#), [Zhou Xiukun](#)  
作者单位: [武汉科技大学耐火材料与高温陶瓷国家重点实验室培育基地](#), 湖北, 武汉, 430081  
刊名: [武汉科技大学学报\(自然科学版\)](#)   
英文刊名: [JOURNAL OF WUHAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)  
年, 卷(期): 2009, 32(2)  
被引用次数: 3次

## 参考文献(6条)

1. [王玺堂](#); [夏霞云](#) [纤维增强莫来石隔热材料的研制](#) 1998(05)
2. [袁新良](#) [轻质高铝砖的研制](#) 1999(06)
3. [贾诚](#) [泡沫陶瓷轻质隔热制品](#) 2000(03)
4. [陈海群](#); [李英勇](#); [朱俊武](#) [十二烷基磺酸钠改性蒙脱土的制备与表征](#)[期刊论文]-[无机化学学报](#) 2004(03)
5. [张显](#); [马林](#) [增孔剂对镁橄榄石质隔热耐火材料结构和性能的影响](#)[期刊论文]-[硅酸盐通报](#) 2001(05)
6. [T Juettner](#); [H Moertel](#); [V Svinka](#) [Structure of kaoline-alumina based foam ceramics for high temperature applications](#) 2007

## 本文读者也读过(6条)

1. [董童霖](#). [王玺堂](#). [张保国](#). [程鹏](#) [发泡法制备莫来石轻质耐火材料](#)[会议论文]-2008
2. [蔡振哲](#). [阮玉忠](#). [于岩](#). [郑韵虹](#). [古应运](#). [CAI Zhen-zhe](#). [RUAN Yu-zhong](#). [YU Yan](#). [ZHENG Yun-hong](#). [GU Ying-yun](#) [利用铝厂废渣和废聚苯乙烯研制轻质隔热耐火材料](#)[期刊论文]-[硅酸盐通报](#)2007, 26(4)
3. [丁良盛](#). [林先桥](#). [宋波](#). [姜灵玺](#). [杜珏玉](#). [孙海东](#) [绿色耐火材料的超轻质砖研制](#)[会议论文]-2008
4. [张根栓](#). [王忠文](#). [刘剑](#). [谈国强](#). [刘艳](#) [薄型转辊道窑的轻质耐火材料砌筑](#)[期刊论文]-[中国建材科技](#)2009(1)
5. [贺燮炎](#) [轻质隔热耐火材料对推进陶瓷窑炉现代化的作用](#)[期刊论文]-[陶瓷科学与艺术](#)2009, 43(9)
6. [董童霖](#) [莫来石轻质耐火材料的制备](#)[学位论文]2009

## 引证文献(3条)

1. [陈皇忠](#) [纤维增强莫来石轻质耐火材料的制备](#)[期刊论文]-[佛山陶瓷](#) 2011(6)
2. [陈皇忠](#) [纤维增强莫来石轻质耐火材料的制备](#)[期刊论文]-[陶瓷](#) 2011(9)
3. [张林](#). [杜景红](#). [甘国友](#). [严继康](#) [凝胶-发泡法制备多孔氧化铝隔热材料的研究](#)[期刊论文]-[热加工工艺](#) 2011(22)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_whkjdx200902019.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_whkjdx200902019.aspx)