

# 六铝酸钙新型隔热耐火材料的性能及应用

裴春秋, 石 干, 徐建峰

(中钢集团洛阳耐火材料研究院, 河南 洛阳 471039)

**摘 要:** 六铝酸钙( $CA_6$ )隔热耐火材料有着大量的微米级气孔, 故其热导率从室温至 1 500 °C 均保持在较低水平, 这使其成为一种独特的新型隔热耐火材料。再加上优良的高温体积稳定性、抗热震性、抗渣等性能使六铝酸钙( $CA_6$ )隔热耐火材料在钢铁、陶瓷、玻璃、石化等高温工业中有着成功的应用。

**关键词:** 六铝酸钙; 隔热耐火材料; 性能; 应用

中图分类号: TQ175.1+2

文献标识码: B

文章编号: 1001-6988(2007)01-0045-05

## Properties and Application of Novel Calcium Hexaluminate Insulating Refractory

PEI Chun-qi, SHI Gan, XU Jian-feng

(Sinosteel Corporation Luoyang Institute Refractories Research, Luoyang 471039, China)

**Abstract:** The large amount of microporosity in calcium hexaluminate insulating refractory keeps its thermal conductivity at low levels from room temperature to 1 500 °C, which makes calcium hexaluminate insulating refractory as a unique novel insulating material. Provided with its excellent properties of long term high temperature stability, high thermal shock, resistance to spalling and slag, calcium hexaluminate insulating refractory has been successfully used in steel, ceramic, glass and petrochemical industry.

**Key words:** calcium hexaluminate; insulating material; properties; application

隔热耐火材料的使用是工业窑炉节能降耗的重要因素之一。基于六铝酸钙( $CA_6$ )的微孔隔热耐火材料是一种新型的隔热耐火材料。 $CA_6$ ( $CaO \cdot 6Al_2O_3$  或  $CaAl_{12}O_{19}$ , 91.6%  $Al_2O_3$ , 8.4%  $CaO$ ; 矿物名称: 黑铝钙石)是  $CaO-Al_2O_3$  系中  $Al_2O_3$  含量最高的铝酸钙相。从矿物的胶凝性来看,  $CA_6$  基本无水化活性。其理论密度为  $3.38 \text{ g/cm}^3$ , 熔点在 1 850 °C 以上, 热膨胀系数为  $8.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (20~1 000 °C), 与  $Al_2O_3$  的  $8.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  相近, 这说明在两种材料之间膨胀失配可能性低, 可使两种原料按技术要求以任何比例配合使用<sup>[1,2]</sup>。

这种六铝酸钙( $CA_6$ )新型微孔隔热耐火材料的热导率从常温至高温均保持在较低水平, 高温下的隔热性能可以与纤维材料媲美, 可替代陶瓷耐火纤维制品。再加上其优良的高温体积稳定性、抗热震性、抗渣等性能使其在高温工业中有着成功的应用。

### 1 六铝酸钙隔热原料的合成

Jose Luis Mendoza 等<sup>[3]</sup>采用煅烧亚微米级  $Al_2O_3$  粉末和分析纯  $Ca(OH)_2$  制备六铝酸钙材料, 研究表明  $CA_6$  的最佳形成温度是 1 400 °C。

Vipin Kant Singh 等<sup>[4]</sup>以  $Ca(NO_3)_2$  与  $Al_2(SO_4)_3$  为原料、采用熔盐法合成了  $CA_6$ , 研究表明其最佳生成温度也为 1 400 °C。

李天清、李楠等<sup>[5-7]</sup>用轻质碳酸钙(平均粒度为  $3.5 \mu\text{m}$ )和工业氧化铝(平均粒度为  $6.3 \mu\text{m}$ )制备了  $CA_6$  多孔材料, 指出  $CA_6$  的形成温度低于 1 300 °C, 快速反应发生在 1 500 °C, 此时  $CA_6$  持续生成并发育成片状晶体, 1 600 °C 下主要相没有变化; 1 500 °C 为制备  $CA_6$  多孔材料的最佳温度。C. Dominguez 等<sup>[8]</sup>也通过反应烧结  $Al_2O_3$  与  $CaCO_3$  制备了  $CA_6$  材料。

由  $CA_6$  隔热原料的这几种合成途径可以看出: ①合成  $CA_6$  的原料粒度控制在微米级或亚微米级, 以获得尽量小的孔径。②合成  $CA_6$  的原料在高温下原位分解产生一定的微孔结构:  $CaO$  原料可以由  $Ca(OH)_2$ 、 $Ca(NO_3)_2$ 、 $CaCO_3$  分解生成。③ $CA_6$  的最佳合成温度在 1 400~1 500 °C 之间, 该温度范围也制约了

收稿日期: 2006-09-14

作者简介: 裴春秋(1981—), 女, 硕士研究生, 主要从事隔热耐火材料的性能研究工作。

CA<sub>6</sub> 隔热材料的使用温度不宜超过 1 500 °C。

另外, Vladimir V<sup>[9]</sup> 指出 CA<sub>6</sub> 片状晶体厚度对 CA<sub>6</sub> 多孔材料的热导率产生重要影响,随片状晶体厚度的增加其热导率急剧上升。因此在反应烧制制备 CA<sub>6</sub> 多孔材料中,应当严格控制 CA<sub>6</sub> 的晶体厚度,以达到最佳隔热效果。

## 2 六铝酸钙隔热耐火材料的性能

### 2.1 六铝酸钙轻质原料

SLA-92 是 Alcoa 公司生产的一种高纯、微孔六铝酸钙轻质原料,化学组成接近 CA<sub>6</sub> 的理论组成,开口气孔率接近 80%,显气孔孔径主要集中在 1~6 μm,平均孔径 3~4 μm。SLA-92 的显微结构表明 CA<sub>6</sub> 晶体呈片状,片状晶体之间以点接触为主,这种晶体结构类似于陶瓷纤维的显微结构,因此其热导率极低<sup>[10]</sup>,且 CA<sub>6</sub> 的片状晶体间呈相互交错状。这使其内部有高的气孔率,并增强了骨料的强度。CA<sub>6</sub> 片状晶体间的自由距离决定了微小气孔的孔径<sup>[11]</sup>。表 1 为 Alcoa 公司生产的 SLA-92 轻质原料的物化数据及矿物组成<sup>[12]</sup>。

表 1 SLA-92 有关数据

化学组成	典型值/%	最小值/%	最大值/%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	91	90	
CaO	8.5		9.2
Na <sub>2</sub> O	0.40		0.5
SiO <sub>2</sub>	0.07		0.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04		0.1
物理性能		典型值	最大值
体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.5~0.6		
容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.80		0.95
相组成	CA <sub>6</sub> 为主晶相, CA <sub>2</sub> 、α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 为次晶相		
可供粒度/mm	3~6	1~3	0~1

图 1 为 SLA-92 原料与传统隔热原料的热导率-温度曲线,可以看出:SLA-92 原料的热导率类似于陶瓷纤维的热导率,随温度的升高,热导率呈近似水平的上升趋势。但与陶瓷纤维不同的是,1 200 °C 以上,陶瓷纤维的热导率-温度曲开始快速上升,热导率将明显高于 SLA-92 原料的热导率。SLA-92 原料的热导率远远低于传统的氧化铝空心球骨料、轻质黏土骨料等的热导率。

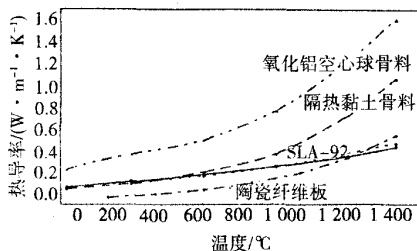


图 1 SLA-92 与传统隔热原料的热导率

SLA-92 骨料可用于各种高温轻质隔热材料(砖)、不定形耐火材料,使用温度可至 1 400~1 500 °C。

### 2.2 六铝酸钙隔热产品

20 世纪 90 年代初以来,CA<sub>6</sub> 隔热产品独特的性能尤其低导热性引起了国外科技工作者广泛的兴趣和关注,相关的研究与报道不断涌现。

#### (1) 导热性

300~1 400 °C 间低热导率的 SLA-92 基隔热材料有着显著优势,与传统的刚玉、莫来石隔热耐火材料相比,CA<sub>6</sub> 隔热试样热导率明显偏低,且温度显著变化时,其热导率变化较小<sup>[13]</sup>。这使其成为一种独特的新型隔热耐火材料。

Vladimir V<sup>[14]</sup> 对这种新型的 CA<sub>6</sub> 隔热耐火材料的热导率做了较详细的研究。图 2 为 CA<sub>6</sub> 隔热试样 2、CA<sub>6</sub>-刚玉轻质试样 7 及刚玉轻质试样 8、10 的热导率-温度曲线。图中还示出了体积密度为 2.55 g/cm<sup>3</sup>、气孔率为 32% 的致密 CA<sub>6</sub> 材料 9 的热导率。

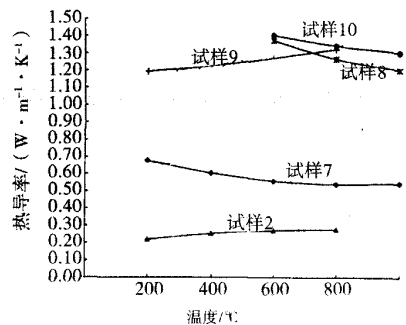


图 2 CA<sub>6</sub> 隔热耐火材料与刚玉隔热耐火材料的热导率比较

试样 2(气孔率 = 66.9%, 体积密度 = 1.25 g/cm<sup>3</sup>)和试样 7(气孔率 = 68.1%, 体积密度 = 1.27 g/cm<sup>3</sup>)、试样 8(气孔率 = 68.6%, 体积密度 = 1.25 g/cm<sup>3</sup>)的体积密度和总气孔率接近或相同,但其热导率却差别很大。这是由于热导率除与气孔率有关外,还与原材料本身的热导率及孔结构密切相关。轻质 CA<sub>6</sub> 试样 2 的热导率约为刚玉质试样 8 热导率的 1/5,为二者混合矿物相试样 7 的 1/2。600 °C 时,气孔率为 32% 的致密 CA<sub>6</sub> 试样 9 的热导率比体积密度为 1.6 g/cm<sup>3</sup>、气孔率为 60% 的轻质刚玉试样 10 还低。在 800 °C 时,两线相交。

另外,对有关 SLA-92 的浇注料实验表明,它的

低密度及微孔性可以抑制 1 000 ℃ 以上的辐射传热,使其在 1 300 ℃ 时热导率较低,仅为 0.4 W/m·K。且 CA<sub>6</sub> 隔热浇注料与 CA<sub>6</sub> 隔热砖的热导率相差很小,即使砖体有较高的体积密度。

### (2) 高温体积稳定性

与常用的高温隔热材料相比,CA<sub>6</sub> 轻质隔热耐火材料表现出更优良的长期高温稳定性。

Van Garsel<sup>[15]</sup>对基于 SLA-92 轻质骨料的高温隔热浇注料进行了 1 400 ℃ 和 1 500 ℃ 下长达两周的高温体积稳定性测试。研究表明,1 500 ℃ 的长期加热不改变孔径分布。一个有趣但还未完全解释清楚的现象是磷酸盐结合试样中只有 < 10 μm (直径) 的微气孔,且整个孔径分布均比原料 SLA-92 的孔径分布窄。

对水泥和磷酸盐结合的 SLA-92 质隔热浇注料制品进行的 1 500 ℃ × 14 d 热处理发现:①磷酸盐结合浇注料仅有 0.3% 的低收缩率,水泥结合的浇注料收缩率为 1.9%,而相当的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 硅酸盐隔热砖、浇注料基捣打料(即 ASTM28 - 30、EN1094 150 - 160)由于莫来石的形成本体体积随时间而不断增加。稍低等级的 ASTM26 在 1 400 ℃、200 h 的热处理中由于熔融相的生成而出现收缩。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 硅酸盐耐火纤维在高温下的使用将逐渐玻璃相析晶,导致体积收缩、密度增加、晶体长大、产生脆性、结构破坏,最终失去纤维材料的本质隔热性能。②热处理前后的平均孔径均基本不变,为 1 ~ 3 μm,这使其在 300 ~ 1 400 ℃ 很宽的温度范围内,热导率很低且几乎保持不变,如 1 400 ℃ 时为 0.33 W/(m·K)。③SEM 照片显示,处理后 SLA-92 骨料无明显形态变化。磷酸盐结合的 SLA-92 质制品由于高耐火相 Na<sub>2</sub>O·2CaO·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的形成,使其可支持 1 500 ℃ 以上的高温行为。

### (3) 抗热震性

Van Garsel 用空气急冷法对 CA<sub>6</sub> 隔热试样进行了 10 次的抗热震性试验。对于水泥结合的试样,其在 1 500 ℃ 的长期热处理中收缩率达 1.9%,但仍无任何裂纹;1 400 ~ 1 500 ℃ 热处理的隔热浇注料 I6/1 无任何裂纹出现,强度也没有降低;1 400 ℃ 热处理的隔热砖出现了一条裂纹,可能由于其较高的体积密度或成型过程中的层裂所致。

GmbH-Aachen 公司<sup>[16]</sup>也对浇注成型的 CA<sub>6</sub> 隔热试样进行了抗热震性评估。指出:这种材料的低热导率、高耐火度尤其抗热震性给我们很大鼓舞。

温度高于 1 450 ℃,很难找到抗热震性能良好的隔热材料。对于浇注制品需要大量的水分,致使干燥过程缓慢,且裂纹须加以控制。而 CA<sub>6</sub> 隔热浇注制品则可以避免这些问题。

### (4) 抗剥落、抗渣性

文献[17]对无纤维 CA<sub>6</sub> 隔热浇注料和氧化铝纤维隔热浇注料进行了 1 500 ℃ × 30 min 空冷 10 min、循环 5 次的抗剥落试验。结果表明:CA<sub>6</sub> 隔热浇注料比氧化铝纤维隔热浇注料有更少的裂纹出现。同时又对二者作了同一条件下的抗渣侵蚀试验,发现 CA<sub>6</sub> 隔热材料坩锅试样的底部仍有一层渣未渗透的部分,而氧化铝纤维隔热坩锅试样底部已被熔渣完全渗透。由此可见,采用 CA<sub>6</sub> 微孔骨料的无纤维隔热材料的抗剥落、抗渣性要优于氧化铝纤维隔热材料的抗剥落、抗渣性能。

## 3 六铝酸钙隔热耐火材料的应用

### 3.1 在钢铁工业中的应用

钢铁工业的发展促进了耐火材料的创新。近年来找到了钢包预热器和各种加热炉用耐火纤维制品的替代材料——CA<sub>6</sub> 隔热耐火材料。

#### (1) 钢包盖内衬

Duhamel 和 Verelle 对此进行了改进设计。主要消除纤维制品装卸及移动中所造成的种种不便,并提高钢包盖的使用寿命及效率,且对于被列为 2 级致癌物的纤维来说起到一定的健康和环保作用。SLA-92 基浇注料可达到此要求。与纤维内衬相比,其原料成本高了 54%,但可减少人力操作,且使用寿命至少可提高一倍以上。

De Wit 等人也指出,SLA-92 基隔热浇注料可满足钢包盖内衬非纤维化的要求,且可充分抵抗高温变化并保持长期稳定性。另外,其比重小,热导率低,这对轻质耐火内衬来说至关重要。

最重要的是其抗热震性。SLA-92 隔热浇注料可承受 1 200 ℃ 与室温间数次的快速加热与冷却过程。其使用寿命可达 3 年以上而无任何中间修补。

#### (2) 浸入式水口隔热材料

Gotthelf 等人研究了连续浇注用浸入式水口隔热材料的非纤维化。用 SLA-92 基涂层对水口进行处理来代替纤维包装材料已取得很好的效果。实验

表明 SLA-92 基涂层的隔热效果比纤维的隔热效果更好。而纤维制品要达到同样的隔热效果,其厚度为 SLA-92 基涂层的 2 倍(6 mm 和 3 mm)。

### (3) 加热炉

Wuthnow 等人报道了生产不同钢种的炼钢厂加热炉对特别隔热材料的要求。由于生产不同的钢种,炉温须经数次和快速的变化。SLA-92 基制品主要用在以下 3 个方面:替代耐火纤维用于步进梁式加热炉的固定片预制块和横梁隔热、炉顶修补时的轻质喷补料、替代高铝隔热砖的炉顶预制块,以加快不同钢种生产时的炉温调整。

由于频繁的炉温变化,尤其每年一次或两次的停炉修补,均需其轻质砖有良好的抗热震性。常用的标准轻质砖 ASTM30 使用 18 个月后便有明显剥落。SLA-92 基预制块(体积密度  $1.2 \text{ g/cm}^3$ )与高铝砖(体积密度  $1.08 \text{ g/cm}^3$ )相比,抗热震和隔热性能更优良;经试验,其使用寿命高达 3 年以上。

Kikuchi 等人也对替代耐火纤维用在步进梁式加热炉固定片和横梁上的隔热材料作了研究。详细讨论了 SLA-92 基隔热浇注制品与纤维材料相比在抗渣和抗剥落方面的优良性能,指出这种内衬的使用寿命超过 2 年,大于传统纤维隔热内衬的使用寿命。

### 3.2 在陶瓷工业中的应用

陶瓷工业的烧成周期愈来愈短,通常每周停窑一次,这就对其内衬材料的抗热震性提出了挑战。

1999 年,Stainer 和 Kremer 提出,这种新型的微孔  $\text{CA}_6$  骨料可用在陶瓷工艺中。选择这种材料的关键标准是其优良的抗热震性,尤其  $1450 \text{ }^\circ\text{C}$  以上,几乎没有其他任何隔热材料可与之相比。

Pörzgen 等人报道了基于 SLA-92 隔热浇注料的窑车内衬。SLA-92 隔热浇注料的主要优势是其低热导率和高抗热震性。可以明显减少传统隔热砖所造成的热剥落;也优于由于玻璃析晶而变脆的耐火纤维内衬。抗热剥落的增强,减少了对制品性能有影响的微颗粒数量及沉积,从而提高了制品质量及产量。现已成功测试,这种新型内衬窑车可用 6 个月,由于优良的抗热震性,窑车未出现任何破坏。随后研究表明,SLA-92 基内衬窑车的使用寿命为 12 ~

24 个月,超过了传统窑车的使用寿命。

Overhoff 等人也报道了瓷器工业中窑车和辊道窑用 SLA-92 材料。其以优良的抗碱性、抗还原性及耐高温性  $1300 \sim 1500 \text{ }^\circ\text{C}$  而被用来替代高密度、高热导率的轻质刚玉砖。

### 3.3 在玻璃工业中的应用

Windle 和 Bentley 讨论了玻璃工业中熔化池富氧燃烧技术的应用,但随碱金属浓度的升高,其缺陷也明显增加,致使碓顶传统硅砖受到严重磨损。通过碓顶镁铝尖晶石的使用可在一定程度上改善碱金属侵蚀。而作为尖晶石内衬的隔热材料,选用了  $\text{CA}_6$  质隔热砖。 $\text{CA}_6$  质隔热砖与传统硅酸铝隔热材料相比有更好的抗碱性。随着热面温度的升高, $\text{CA}_6$  的高耐火度与硅酸铝隔热材料相比也占一大优势。硅酸铝隔热材料的使用温度已非常接近其临界值。

### 3.4 在石化工业中的应用

在石化工业中, $\text{CA}_6$  隔热耐火材料主要用于与还原性气体  $\text{H}_2$  和  $\text{CO}$  相接触的内衬部位。SLA-92 以其高纯和隔热性能取代了氧化铝空心球,即使在剧烈的还原气氛下也保持稳定。刚玉空心球制品的热导率大约为  $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,但随温度的升高而明显增大。而 SLA-92 制品的热导率较低,仅为  $0.4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,且在整个温度范围内保持稳定。

石化用耐火材料的最重要一点是其氧化物的稳定性。如抗还原性、抗  $\text{CO}$  侵蚀和抗高速气流的磨损性。依国际标准 ASTM228,SLA-92 基隔热浇注料在  $540 \text{ }^\circ\text{C}$  预烧后其抗  $\text{CO}$  侵蚀性为 A 级, $1095 \text{ }^\circ\text{C}$  预烧后为 B 级。

## 4 结论

对隔热耐火材料来说,为得到最佳的隔热效果,应有尽量小的孔径和高的气孔率。为能够在高温使用,应有高耐火度的矿物相和低的杂质含量。这种新型的六铝酸钙( $\text{CA}_6$ )隔热耐火材料有着大量的微米级气孔和良好的高温体积稳定性,这使其热导率从室温到高温均很低且几乎不变,可用来替代对人体健康有害的陶瓷纤维制品。加上其优良的抗热震性、抗渣、抗剥落性,六铝酸钙隔热耐火材料在各种

高温工业中已成功得到应用。

六铝酸钙除其隔热材料的优势外,还具有一系列其它优异的技术性能,例如与含氧化铁的熔渣形成固溶体的范围大。在碱性环境中抗化学侵蚀能力强,在还原气氛中高度稳定,膨胀系数接近  $Al_2O_3$ ,主要结晶区大,在几种多元系中有较低的溶解性等。这些优异的特性使六铝酸钙材料在钢铁、玻璃窑及石化等行业的应用均达到理想效果,在能源日益紧张的今天,具有非常广阔的应用范围和前景。

#### 参考文献:

- [1] 刘新斌,博耐特(Bonite).一种新型的合成致密  $CA_6$  耐火原料[J].耐火材料,2006,40(1):60-64.
- [2] CRIADO E, S De AZA. Calcium hexaluminate as refractory material[J]. UNITECR, 1991:403-407.
- [3] JOSE Luis Mendoza, AARON Froese, ROBERTE Moore. Thermal-mechanical Behavior of Calcium Aluminate Composites[J]. Ceramic Transactions Advanced in Refractories Technology, 1990.
- [4] VIPTN Kant Singh, KRISHNA Kumar Sharma. Low-temperature synthesis of calcium hex-aluminate[J]. Journal of American Ceramic Society, 2002, 84(4):769-772.
- [5] 李天清,李楠,李友胜.反应烧结法制备六铝酸钙多孔材料[J].耐火材料,2004,38(5):309-311,323.
- [6] 李有奇,李亚伟,金胜利,等.六铝酸钙材料的合成及其显微结构研究[J].耐火材料,2004,38(5):318-323.
- [7] 李天清,李楠,秦正亮,等.氧化铝原料对合成  $CA_6$  多孔骨料的性能、相组成和显微结构的影响[C]//2004年全国不定形耐火材料学术会议论文集.2004:284-288.
- [8] 李天清,李楠,李友胜.反应烧结制备  $CA_6$  多孔材料及显微结构研究[C]//第九届全国耐火材料青年学术报告会论文集.河南:耐火材料学会,2004:198-201.
- [9] CRISTINA Dominguez C, CHEVALIER J, TORRECILAS R, et al. Microstructure development in calcium hexaluminate[J]. Journal of The European Ceramic Society, 2001(21):381-387.
- [10] VLADIMIR V, VALERY V. Super Low Thermal Conductivity Heat Insulating Lightweight Material on The Basis of Calcium Hexaluminate [C]//Proceedings of the Second International Symposium on Refractories, 2002:1188-1192.
- [11] WEBB Janich, SUSZCZYNSKI Maria, et al. High Temperature Insulating Refractory Monolithics Based on Microporous Aggregates[Z]. UNITECR, 1999:177-180.
- [12] D. VAN GARSEL, T. G. SWANSINGER, G. ROUTSCHKA. New insulating raw material for high temperature applications [Z]. Aachen, 1998:122-128.
- [13] RAINER KOCKEGEY, Dr. ANDREAS BUHR, RAYMOND P. RACHER. Industrial Application Experiences With Microporous Calcium Hexaluminate Insulating Material SLA-92[Z]. Aachen, 2005:66-70.
- [14] VLADIMIR V. The Stability Research of Heat Insulating Refractories With a Microporous Structure in The Reducing Atmosphere [Z]. Aachen, 2005:206-208.
- [15] VLADIMIR V, VALERY V, LARISA A, et al. The Study of Lightweight Calcium Hexaluminate Refractories Properties Depending On Porosity and Pore Structure[Z]. Aachen, 2005:56-59.
- [16] VAN GARSEL D, BUHR A, GNAUCK V. Long Term High Temperature Stability of Microstructure Calcium Hexaluminate Based Insulating Materials[Z]. UNITECR, 1999:181-186.
- [17] STAINER D, KREMER R, Calcium Hexaluminate Products, Development and Application in The High Temperature Industry[Z]. UNITECR, 1999:187.
- [18] T. KIKUCHI, Y. SAKAMOTO, K. FUJITA. Non-fibrous Insulating Castable Which Utilize Micro Porous Aggregate[Z]. Fourth international symposium on advances in refractories for the metallurgical industries, Hamilton/Canada, 2004:719-728.

(上接第33页)

## 4 结束语

严格按有关规程、标准进行选用和安装有机热载体锅炉,安装时由当地特种检验部门进行同步安装监检,在使用锅炉过程中严格按操作规程运行,就能有效避免和降低有机热载体锅炉发生的各种事故,保证此类锅炉安全可靠运行。

#### 参考文献:

- [1] 胡月新,李德锋,岳勇.浅谈有机热载体生产、使用中的若干隐患[J].工业锅炉,2004,25(1):35-37.
- [2] 张宝康.工业锅炉实用手册[M].南京:江苏科学技术出版社,1991.
- [3] 杨建民.热载体加热技术的应用[J].工业炉,2005,27(5):12-15.
- [4] 岳勇.液相有机热载体锅炉应注意的几个安全问题[J].江苏劳动保护,2005(9):40-42.

# 六铝酸钙新型隔热耐火材料的性能及应用

作者: 裴春秋, 石干, 徐建峰, PEI Chun-qiu, SHI Gan, XU Jian-feng  
作者单位: 中钢集团洛阳耐火材料研究院, 河南, 洛阳, 471039  
刊名: 工业炉 **ISTIC**  
英文刊名: INDUSTRIAL FURNACE  
年, 卷(期): 2007, 29(1)  
被引用次数: 7次

## 参考文献(18条)

1. 刘新戔;博耐特 [一种新型的合成致密CA6耐火原料](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2006(01)
2. CRIADO E;S De AZA [Calcium hexaluminate as refractory material](#) 1991
3. JOSE Luis Mendoza;AARON Freese;ROBERTE Moore [Thermalmechanical Behavior of Calcium Aluminate Composites](#) 1990
4. VIPIN Kant Singh;KRISHNA Kumar Sharma [Low-temperature synthesis of calcium hex-aluminate](#) 2002(04)
5. 李天清;李楠;李友胜 [反应烧结法制备六铝酸钙多孔材料](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2004(05)
6. 李有奇;李亚伟;金胜利 [六铝酸钙材料的合成及其显微结构研究](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2004(05)
7. 李天清;李楠;秦正亮 [氧化铝原料对合成CA6多孔骨料的性能、相组成和显微结构的影响](#) 2004
8. 李天清;李楠;李友胜 [反应烧结制备CA6多孔材料及显微结构研究](#)[会议论文] 2004
9. CRISTINA Dominguez C;CHEVALIER J;TORRECILAS R [Microstructure development in calcium hexaluminate](#) [外文期刊] 2001(3)
10. VLADIMIR V;VALERY V [Super Low Thermal Conductivity Heat Insulating Lightweight Material on The Basis of Calcium Hexaluminate](#) 2002
11. WEBB Janich;SUSZCZYNSKI Maria [High Temperature Insulating Refractory Monolithics Based on Microporous Aggregates](#) 1999
12. D VAN GARSEL;T G SWANSINGER;G ROUTSCHKA [New insulating raw material for high temperature applications](#) 1998
13. RAINER KOCKEGEY;Dr ANDREAS BUHR;RAYMOND P RACHER [Industrial Application Experiences With Microporous Calcium Hexaluminate Insulating Material SLA-92](#) 2005
14. VLADIMIR V [The Stability Research of Heat Insulating Refractories With a Microporous Structure in The Reducing Atmosphere](#) 2005
15. VLADIMIR V;VALERY V;LARISA A [The Study of Lightweight Calcium Hexaluminate Refractories Properties Depending On Porosity and Pore Structure](#) 2005
16. VAN GARSEL D;BUHR A;GNAUCK V [Long Term High Temperature Stability of Microstructure Calcium Hexaluminate Based Insulating Materials](#) 1999
17. STAINER D;KREMER R [Calcium Hexaltninate Products,Development and Application in The High Temperature Industry](#) 1999
18. T KIKUCHI;Y SAKAMOTO;K FUJTTA [Non-fibrous Insulating Castable Which Utilize Micro Porous Aggregate](#)[外文会议] 2004

## 本文读者也读过(10条)

1. 周永生. 张礼华. 严云. Zhou Yongsheng. Zhang Lihua. Yan Yun [钙铝质原料对六铝酸钙多孔陶瓷性能的影响](#)[期刊

论文]-佛山陶瓷2009, 19(4)

2. 李天清, 李楠, 卜源, 贺中央, LI Tian-qing, LI Nan, PU Yuan, HE Zhong-yang 氧化铝原料对合成CA6多孔骨料性能的影响[期刊论文]-工业炉2006, 28(4)
3. 张礼华, 周永生, 严云, Zhang Lihua, Zhou Yongsheng, Yan Yun 烧结法合成六铝酸钙多孔陶瓷的研究[期刊论文]-非金属矿2009, 32(5)
4. 陈冲, 陈海葵, 王俊, 孙宝德, CHEN Chong, CHEN Hai-yan, WANG Jun, SUN Bao-de 六铝酸钙材料的合成、性能和应用[期刊论文]-硅酸盐通报2009, 28(z1)
5. 李天清, 李楠, 李友胜 反应烧结法制备六铝酸钙多孔材料[期刊论文]-耐火材料2004, 38(5)
6. 孙庚辰, 王守业, 李建涛, 郑玲聪, 周国禄 轻质隔热耐火材料——钙长石和六铝酸钙[期刊论文]-耐火材料 2009, 43(3)
7. 易帅, 王凡, 童玲欣, 沈洁, 胡建辉, 房明浩, 刘艳改, 黄朝晖 原料种类和合成温度对合成CA6的影响[期刊论文]-耐火材料2010, 44(1)
8. 王长宝, 王玺堂, 张保国, Wang Changbao, Wang Xitang, Zhang Baoguo 浇注-烧结法合成六铝酸钙[期刊论文]-耐火材料2008, 42(4)
9. 李有奇, 李亚伟, 金胜利, 李楠 六铝酸钙材料的合成及其显微结构研究[期刊论文]-耐火材料2004, 38(5)
10. 李胜, 李友胜, 韩兵强, 柯昌明, 李楠, LI Sheng, LI You-sheng, HAN Bing-qiang, KE Chang-ming, LI Nan 不同造孔剂对CA6-MA多孔材料性能的影响[期刊论文]-硅酸盐通报2010, 29(5)

#### 引证文献(7条)

1. 刘小林, 刘开琪, 刘永锋, 高飞, 杨粉荣 利用氢氧化铝和碳酸钙制备六铝酸钙[期刊论文]-耐火材料 2011(6)
2. 周永生, 张礼华, 严云 钙铝质原料对六铝酸钙多孔陶瓷性能的影响[期刊论文]-佛山陶瓷 2009(4)
3. 张礼华, 周永生, 严云 烧结法合成六铝酸钙多孔陶瓷的研究[期刊论文]-非金属矿 2009(5)
4. 刘小林, 刘开琪, 谢笑虎, 刘永锋, 罗志勇 不同Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粉对合成CA6性能的影响[期刊论文]-耐火材料 2012(3)
5. 曾春燕, 易帅, 刘艳改, 房明浩, 黄朝晖 CaO和 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>配比对合成片晶状六铝酸钙的影响[期刊论文]-耐火材料 2011(2)
6. 曾春燕, 易帅, 黄朝晖, 房明浩, 刘艳改 白云石为钙镁源合成六铝酸钙和尖晶石的研究[期刊论文]-中国非金属矿工业导刊 2010(6)
7. 陈冲, 陈海葵, 王俊, 孙宝德 六铝酸钙材料的合成、性能和应用[期刊论文]-硅酸盐通报 2009(z1)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_gyl200701013.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gyl200701013.aspx)