

## 利用煤矸石制备多孔陶瓷的及力学性能研究

谷玲钰, 刘振英, 刘银

(安徽理工大学 材料科学与工程学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:**以淮南煤矸石、粉煤灰为原料, 纯碱为烧成助剂, 木屑作为造孔剂, 在不同温度烧成3 h, 制备了多孔陶瓷材料。通过XRD、SEM等对多孔陶瓷物相和微结构进行表征, 采用万能试验机测试多孔陶瓷的抗压强度, 结果表明: 多孔陶瓷的主要成分为莫来石和钠长石共存。随造孔剂木屑含量增大, 多孔陶瓷显气孔率先增大后减小。当木屑含量为12%时, 多孔陶瓷气孔率最高为44.52%。煤矸石制备得到多孔陶瓷的孔隙分布均匀, 并在内部形成贯通的多孔结构。随着烧成温度增加, 多孔陶瓷的抗压强度最高可达55.13 MPa。

**关键词:**煤矸石; 造孔剂; 多孔陶瓷; 烧成温度; 抗压强度

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.05.030

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 05-0135-03

煤矸石是采煤和选煤过程中所排出的工业固体废弃物。煤矸石长期露天大量堆放, 不仅占用了大量土地, 而且煤矸石淋溶水会污染周围土壤和地下水, 严重影响环境。粉煤灰是火力发电厂排出的一种工业固体废弃物, 属于火山灰质材料。研究数据表明, 煤矸石和粉煤灰中 $Al_2O_3$ 含量在15%~45%,  $SiO_2$ 含量在40%~65%, 两种组分约占其总量的70%~90%。因此高含量铝、硅的煤矸石和粉煤灰是一类有用的陶瓷原料<sup>[1-2]</sup>。

多孔陶瓷是一类具有广泛用途的陶瓷材料, 其孔隙率较高, 体积密度小, 具有较大的比表面积和独特的物理表面特性, 对液体和气体介质有选择的透过性、能量吸收等特性; 同时陶瓷材料特有耐高温、耐腐蚀、化学稳定性和尺寸稳定性好等性能, 使得多孔陶瓷可以广泛地用作保温、隔音、透水材料<sup>[3-4]</sup>。本论文拟采用煤矸石和粉煤灰为原料, 实现煤矸石和粉煤灰高效绿色的综合利用。通过添加烧结助剂和造孔剂, 优化多孔陶瓷的微观结构和性能, 具有良好的社会、经济和环境效益。

## 1 试验原料和方法

### 1.1 原料

采用淮南煤矸石和粉煤灰为主要原料, 纯碱为烧成助剂、锯木木屑为造孔剂。实验用煤矸石和粉煤灰的主要化学组成见表1。

表1 原料的化学组成/%

Table 1 Chemical compositions of raw materials

|     | $SiO_2$   | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO     | MgO       | $K_2O$   | $Na_2O$   |
|-----|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|
| 煤矸石 | 48.5~54.1 | 21.8~25.7 | 4.28~8.63 | 2.6~3.4 | 1.76~2.51 | 1.3~1.64 | 0.36~0.62 |
| 粉煤灰 | 49.5~51.5 | 25.3~27.2 | 5.1~7.2   | 2.2~3.2 | 1.3~1.7   | 1.0~1.3  | 0.48~0.72 |

### 1.2 试验过程

清洗、破碎后的煤矸石、粉煤灰分别按质量分数80%和20%称取, 然后将煤矸石和粉煤灰装入氧化铝球磨罐, 在行星式球磨机细磨5 h。将球磨后原料添加5%纯碱为烧成助剂, 再分别添加质量分数为3%、5%、10%、12%和15%的木屑为造孔剂, 混合均匀, 最后造粒并干压成型。压制好样品放置高温炉中, 在1150℃、1200℃、1250℃、1300℃和1350℃烧成3 h, 得到多孔陶瓷。

收稿日期: 2018-01-03

基金项目: 安徽省科技攻关项目(1604a0802122), 安徽省高校质量工程项目(2016msgzs021)

作者简介: 谷玲钰(1994-), 女, 研究方向是煤矸石的资源化利用。

通讯作者: 刘银(1975-), 男, 教授。

### 1.3 性能测试

采用阿基米德排水法测定烧成样品的显气孔率及体积密度；采用 XRD-6000 型 X 射线衍射仪进行物相分析；采用 S-3000N 型扫描电镜对样品断面进行显微结构分析；通过 WDW-50 型微机控制万能试验机测试烧成试样的抗压强度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 多孔陶瓷物相分析

图 1 是 1150℃ 烧成 3 h 试样的 XRD 图谱，由图 1 可知，该试样主晶相为莫来石，同时还含有钠长石。在陶瓷坯体烧成过程中，煤矸石与粉煤灰反应生成莫来石晶相，随着温度升高，纯碱分解生成氧化钠和二氧化碳，氧化钠有助熔作用，易于降低陶瓷烧成温度，同时与煤矸石和粉煤灰反应生成钠长石。反应中产生  $\text{CO}_2$  逸出，也促使陶瓷坯体形成气孔。

### 2.2 多孔陶瓷烧成性能的分析

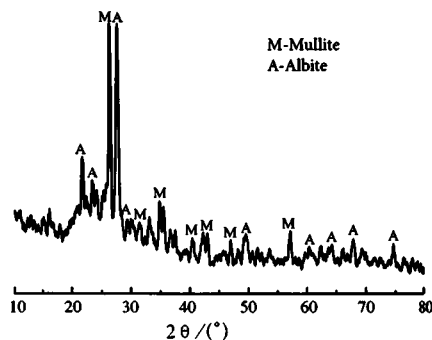


图 1 1150℃ 烧成 3h 多孔陶瓷的 XRD 图谱

Fig. 1 XRD pattern of porous ceramic sintered at 1150 °C for 3 h

图 2 为不同木屑含量 1150℃ 烧成试样的显气孔率和体积密度。由图 2 可以看出，随着木屑加入量增加，试样气孔率逐渐增加，体积密度不断减小。当木屑添加量为 12% 时，多孔陶瓷气孔率可达 44.52%，这主要是由于木屑燃烧和纯碱受热分解产生气体逸出后在坯体内部留下气孔，同时也包含骨料之间堆积而形成的孔隙<sup>[5]</sup>。当木屑加入量超过 12% 时，其气孔率增加平缓，体积密度减小幅度变小，说明随木屑含量增加，原料颗粒堆积状态被改变，颗粒间孔隙变大，高温烧成过

程体积收缩阻碍了异常大孔出现，因此气孔率增加迟缓。

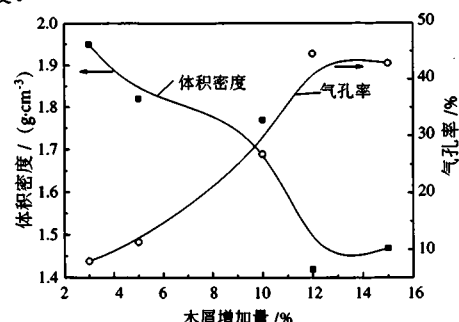


图 2 不同木屑含量对多孔陶瓷体积密度和气孔率的影响  
Fig. 2 Effect of sawdust content on bulk density and apparent porosity of porous ceramics

### 2.3 多孔陶瓷力学性能的分析

图 3 为 12% 木屑试样显气孔率和抗压强度与烧成温度关系。由图 3 可以看出，试样显气孔率随温度升高而降低，这是因为温度越高，钠长石的熔剂性作用显著增强，材料体积收缩越大，阻碍气孔率增大，促进了试样致密化<sup>[6]</sup>。陶瓷试样的抗压强度随烧成温度升高而增大。当烧成温度为 1350℃ 时，抗压强度可达 55.13 MPa。

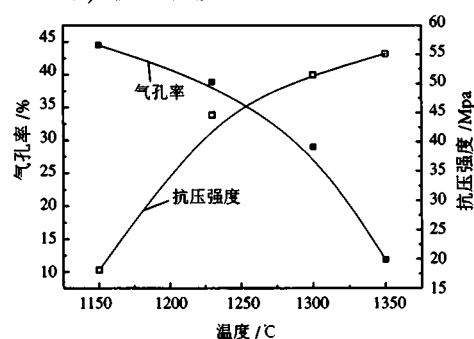


图 3 不同烧成温度对多孔陶瓷气孔率和抗压强度的影响  
Fig. 3 Effect of different sintering temperatures on the apparent porosity and compression strength of porous ceramics

### 2.4 多孔陶瓷显微结构分析

图 4 为不同木屑含量 1250℃ 烧成 3 h 试样的 SEM 照片，由图 4 看出，当木屑含量为 5% 时，气孔尺寸在 20 μm 以下，且数量较少；当木屑含量为 10% 时，气孔数量增多，孔道变大，气孔分布不均匀，形成贯通气孔，这是因为木屑加入量增多发生团聚，此时产生气体变多，孔径相应增加。当木屑含量为 12%，气孔分布较均匀，形成了以堇青石相为骨架的空间网络状结构。当木屑加入

量为15%时。试样内部形成异常大孔，且孔分布不均匀，结合不致密，并导致其强度比较低。

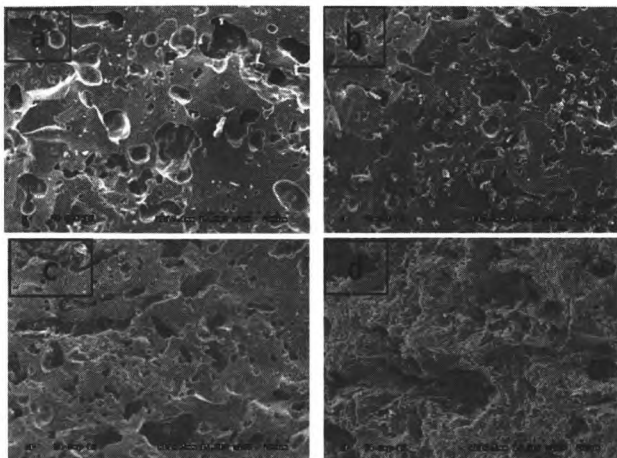


图4 不同木屑含量的多孔陶瓷试样断面 SEM 照片  
(a-5%, b-10%, c-12%, d-15%)

Fig.4 SEM images of porous ceramics with different sawdust content

### 3 结 论

采用煤矸石和粉煤灰为原料，添加质量分数为5%的纯碱为烧成助剂和不同含量木屑为造孔剂，在不同温度下煅烧保温3 h 制备得到了多孔陶瓷。

(1) 随着木屑含量增加，其显气孔率逐渐增多，体积密度逐渐减小。当木屑含量为12%时，

1150℃烧成3 h，多孔陶瓷显气孔率可达44.52%，体积密度为1.42 g/cm<sup>3</sup>。

(2) 随着烧成温度增加，钠长石的熔剂性作用显著增强，试样显气孔率随烧成温度增加而减小，抗压强度逐渐增大。当木屑含量为12%时，1350℃烧成3 h，其抗压强度可达55.13 MPa。

### 参考文献：

- [1] 杨留栓, 汪潇, 王宇斌. 利用煤矸石低温合成堇青石陶瓷粉体的研究 [J], 硅酸盐通报, 2011, 30(6): 1392-1394.
- [2] 赵光岩, 饶平根, 吕明. 莫来石和多孔莫来石的研究与应用 [J]. 中国陶瓷, 2006 (9): 13 - 17.
- [3] 杨中正, 叶方保, 钟香崇. 以矾土和煤矸石烧成合成刚玉和莫来石 [J]. 耐火材料. 2006, 40(4): 276 - 279.
- [4] 张富宽, 罗发, 朱冬梅, 周万城. 莫来石陶瓷的制备、微波介电特性及其对材料吸波性能的影响 [J]. 航空学报, 2005, 26(12): 250 - 253.
- [5] 张芳, 黄志良. 利用不同成孔剂制备堇青石质多孔陶瓷 [J]. 武汉工程大学学报, 2008, 30(3): 69 - 71.
- [6] Ji Haipeng, Fang Minghao, Huang Zhaohui, et al. Effect of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additives on the strength and microstructure of mullite ceramics obtained from coal gangue and  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [J]. Ceram Int, 2013, 39(6): 6841 - 6846.

## The Investigation on preparation of porous ceramic by using coal gangue as the raw materials

Gu Lingyu, Liu Zhenying, Liu Yin

(School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui, China)

**Abstract:** The porous ceramic materials were prepared by using coal gangue and fly ash as raw materials, soda as sintering agent and sawdust as the pore-forming agent at different sintering temperatures for 3h. The phase, microstructure and compression strength of samples were investigated by XRD, SEM and universal mechanical tester. The results showed that the main component of porous ceramics was coexistence of mullite and albite. With the increase of pore-forming agent sawdust, the porosity of samples increased first and then decreased. When the content of sawdust was 12%, the porosity of samples was up to 44.52%. The pore structure of the porous ceramic had uniformly distributed. The network porous structure was also formed in the porous ceramic interior. With the sintering temperature increasing, the compression strength of samples can reach up to 55.13 MPa.

**Keywords:** Coal gangue; Pore-forming agent; Porous ceramic; Sintering temperature; Compression strength