

# 双免无熟料粉煤灰砖的研制

12  
46-4859

卢浩 钱觉时 孟志良 王智

TU522.06

(重庆建筑大学材料科学与工程系 400045)

**摘 要** 研制了以粉煤灰-石灰-硫酸盐系统为胶凝材料,掺入一定的骨料,经压制成型生产粉煤灰无熟料砖,标准养护条件下 28 天抗压强度在 20MPa 以上,并对影响强度的主要因素进行了分析。

**关键词** 粉煤灰;双免;无熟料;压制成型 粉煤灰-石灰-石膏

**中图分类号** TU522.06

随着我国人口的增加,人均耕地日益减少,为保护土地资源,国家已明确规定限制粘土砖的生产,鼓励发展新型墙体材料,充分利用工业废渣粉煤灰生产粉煤灰砖、砌块等建材制品,将对减轻环境污染,保护耕地,节约能源具有十分重要的意义。

粉煤灰作为一种资源,其价值主要体现在其潜在的火山灰活性,粉煤灰的利用主要也是对其活性的利用,特别是作为建筑材料的原材料。在我国利用粉煤灰生产免烧砖已有很长的发展历史,粉煤灰砖的生产工艺及品种繁多,但总的来说还没有达到充分利用粉煤灰的潜在活性,限制了粉煤灰砖的大面积推广与应用,就目前的粉煤灰免烧砖而言,主要存在以下几个方面的不足:(1)成本高、能耗大,以石灰和石膏为激发剂,多数使用蒸气养护;(2)强度低,使用石灰、水泥、石膏等胶凝材料,粉煤灰仅作为一种活性集料使用,没有发挥粉煤灰的潜在活性,并由于水泥的加入会大大增加免烧砖的成本,水泥用量  $170\text{kg}/\text{m}^3$  已经是许多厂家生产时采用的最大掺量;(3)组分过多、工艺复杂,在利用粉煤灰生产无熟料免烧免蒸砖的研究中,许多研究者常采用矿渣、石膏、石灰、晶种和化学激发剂等多组分激发粉煤灰的活性,实际生产中技术要求高、难度大,生产厂家不愿意接受。

本研究使用粉煤灰-石灰-硫酸盐系统<sup>[1][2]</sup>对粉煤灰的活性进行激发,这里所提的粉煤灰-石灰-硫酸盐系统是指常温常压条件下,粉煤灰在该系统中活性能得到比较充分、快速、经济的激发。以粉煤灰-石灰-硫酸盐系统为胶凝材料及简单的工艺解决了现有粉煤灰砖的成本高、早期强度发展慢、强度低等缺点。

## 1 原材料及试验方法

### 1.1 主要原材料

#### (1) 粉煤灰(FA)

试验所用的粉煤灰是重庆九龙坡电厂的干排灰:经粉磨 30 min 的三级粉煤灰,其化学成分见表 1。

表 1 粉煤灰的化学成分(%)

| 氧化物 | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | CaO | 烧失量 |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----|-----|
| 含量  | 50.3             | 23.2                           | 10.6                           | 1.9             | 2.7 | 8.4 |

#### (2) 生石灰(CaO)、熟石灰(CH)

重庆歌乐山山洞石灰厂石灰,其活性为 77%,属于中速石灰,试验中采用的生石灰是经过粉磨 30 min 的磨细生石灰,熟石灰是生石灰在自然状态暴露消解筛分而成。其细度参照水泥细

收稿日期:1999-01-04

卢浩,男,1975 年生,硕士生

重庆市建委科技项目

度标准测定,熟石灰的筛余量为 0.8%,生石灰的筛余量 2.0%。

### (3) 砂(S)

重庆特细砂,细度模数为 0.9

### (4) 碎石(G)

重庆歌乐山石灰石碎石,采用 10 mm 以下的连续级配。

### (5) 激发剂

硫酸钠为工业芒硝。

## 1.2 试验方法

试验中为了减少工序,提高效率,采用干法配料,半干压成型工艺;先将粉煤灰、石灰和骨料按一定的比例混合搅拌,然后加入硫酸钠和水配制的溶液,再进行搅拌,最后将半干硬性的混合料在  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 16\text{ cm}$  的模具中压制成型。成型好的试件采用标准养护。由于时间有限,试验中仅以强度作为考核指标,强度测定参照 GB177—85《水泥胶砂强度检验方法》。

在整个工艺中,成型压力和水胶比是两个关键的参数。试验中成型压力是根据目前双免砖生产中一般采用 120 吨(相当于 43MPa)压砖机,初步定为 40 MPa;水胶比以成型时有无浆体从成型模具中溢出为依据,初步确定在 0.19~0.31 之间,并根据具体的配合比进行变化。

## 2 试验结果与分析

本文是在粉煤灰-石灰-硫酸盐系统对粉煤灰活性激发进行了系统研究的基础上进行的,以粉煤灰-石灰-硫酸盐系统为胶凝材料,在加压成型的条件下,研究了石灰、胶固比、成型压力等因素对强度的影响。

### 2.1 石灰对强度的影响

目前在粉煤灰制品生产中,所用石灰均为磨细生石灰,一般认为生石灰由于水化放出热量,能更好地激发粉煤灰的活性,对制品的早期强度发展有利,但同时生石灰因水化体积膨胀会导致体积安定性不良。而利用粉煤灰-石灰-硫酸盐系统直接生产建材制品的过程中,石灰通常采用生石灰和熟石灰两种形态,熟石灰在细度和体积安定性方面却具有得天独厚的优势,在经济效益上和生产工艺的复杂程度上也有较大优势的,因此试验中采用与生石灰相同 CaO 当量(1 克生石灰相当于 1.32 克熟石灰)的熟石灰来激发粉煤灰的活性,试验结果见表 2。

表 2 石灰对强度的影响

| 编号 | 配料           | 配比             | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 掺量(%) | 水胶比  | 抗折强度(MPa) |      |      | 抗压强度(MPa) |       |       |
|----|--------------|----------------|---------------------------------------|------|-----------|------|------|-----------|-------|-------|
|    |              |                |                                       |      | 7 d       | 28 d | 56 d | 7 d       | 28 d  | 56 d  |
| 1  | FA : CaO : G | 1 : 0.25 : 2.5 | 3                                     | 0.28 | 0.88      | 1.69 | 1.76 | 6.90      | 12.54 | 12.21 |
| 2  | FA : CaO : G | 1 : 0.25 : 2.5 | 3                                     | 0.31 | 1.18      | 1.54 | 1.57 | 8.65      | 13.79 | 13.10 |
| 3  | FA : CH : G  | 1 : 0.33 : 2.5 | 3                                     | 0.28 | 1.68      | 3.76 | 4.36 | 9.15      | 22.39 | 23.97 |
| 4  | FA : CH : G  | 1 : 0.43 : 2.5 | 3                                     | 0.28 | 1.09      | 3.28 | 4.85 | 6.64      | 20.12 | 24.52 |

注:FA 为磨细三级粉煤灰(30min),成型压力为 40MPa。

由表 2 看出:在等当量的比较条件下,熟石灰对粉煤灰活性的激发效果比生石灰好,试样 3 的早期强度发展较快,28 d 抗折强度和抗压强度分别比试样 2 提高了 144% 和 62%,56 天提高更多,与资料<sup>[1]</sup>介绍的情况基本一致,但当熟石灰的掺量过多时,试件早期强度发展较慢,因此熟石灰的掺量在 25% 左右为宜。试验中还发现采用生石灰的试件在养护过程中表面出现裂纹等体积安定性不良的现象,而采用熟石灰则没有。

### 2.2 胶固比对强度的影响

胶固比的变化直接影响着试件的初始强度及后期性能。骨料的掺入可以改善混合料的颗粒级配,减少收缩,提高试件强度及耐久性。试验结果见表 3。

表 3 胶固比对强度的影响

| 编号 | 配 料                          | 配 比                    | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>掺量(%) | 胶固比     | 水胶比  | 抗折强度(MPa) |      | 抗压强度(MPa) |       |
|----|------------------------------|------------------------|--|---------|------|-----------|------|-----------|-------|
|    |                              |                        |  |         |      | 7 d       | 28 d | 7 d       | 28 d  |
| 1  | FA : CH : G                  | 1 : 0.33 : 0           | 3  | 1 : 0   | 0.19 | 3.82      | 6.59 | 10.58     | 24.24 |
| 2  | FA : CH : G                  | 1 : 0.33 : 0.66        | 3  | 1 : 0.5 | 0.20 | 2.72      | 5.50 | 10.63     | 25.86 |
| 3  | FA : CH : G                  | 1 : 0.33 : 1.33        | 3  | 1 : 1   | 0.25 | 2.09      | 3.77 | 9.34      | 19.88 |
| 4  | FA : CH : G                  | 1 : 0.33 : 2.65        | 3  | 1 : 2   | 0.28 | 2.29      | 3.94 | 12.79     | 21.57 |
| 5  | FA : CH : G : S              | 1 : 0.33 : 1.99 : 0.66 | 3  | 1 : 2   | 0.28 | 1.74      | 3.49 | 9.14      | 17.27 |
| 6  | FA : CH : G : L <sub>0</sub> | 1 : 0.33 : 1.99 : 0.66 | 3  | 1 : 2   | 0.28 | 1.61      | 3.66 | 8.33      | 14.57 |

注:FA 为磨细二级粉煤灰(30μm),S 为重庆特细砂,L<sub>0</sub> 为 5mm 以下的瓜米石,成型压力为 40MPa。

由表 3 可见:试样 1 和试样 2 由于没有骨料和骨料较少,胶凝材料较多,只有减少水胶比才能满足压制成型条件,虽然其 28 d 强度较高,但因初始强度低,容易疏松,生产过程操作难度大和制品脆性大等缺点,并没有实际应用的价值,在胶固比为 1:2 的试验中还用特细砂和瓜米石分别取代 25% 的碎石,以增加细集料的掺量,但效果不明显,因此采用 10 mm 以下连续级配的碎石为骨料,胶固比为 1:2 时,效果较好。

### 2.3 成型压力对强度的影响

目前粉煤灰双免砖生产中一般采用高吨位压力机成型,只有保证制品成型时的成型压力在 30 MPa 以上,才能使制品具有良好的抗碳化性能及较高的初始强度,但由于成型压力大,存在着生产效率低,设备复杂,成本高等不足。试验中对混合料(配合比为 FA:CH:G = 1:0.33:2.65,Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 掺量 3%)分别在 15~39 MPa 的成型压力条件下进行了研究,试验结果见表 4。

表 4 成型压力对强度的影响

| 编号 | 成型压力(MPa) | 水胶比  | 抗折强度(MPa) |      |      | 抗压强度(MPa) |       |       |
|----|-----------|------|-----------|------|------|-----------|-------|-------|
|    |           |      | 7 d       | 28 d | 56 d | 7 d       | 28 d  | 56 d  |
| 1  | 15        | 0.30 | 2.03      | 4.24 | —    | 11.04     | 21.07 | —     |
| 2  | 23        | 0.28 | 2.02      | 4.12 | —    | 11.49     | 21.33 | —     |
| 3  | 31        | 0.26 | 1.96      | 4.19 | 4.67 | 12.79     | 22.18 | 25.04 |
| 4  | 39        | 0.28 | 2.29      | 3.94 | —    | 12.18     | 21.57 | —     |

注:FA 为磨细二级粉煤灰(30μm)。

试验结果表明:即使在较低的压力成型条件下,试件的初始强度较高,后期强度发展迅速,28 d 抗压强度达到 21.07 MPa。本研究还进行了试生产,利用其现有的灰砂砖成型压力机(压力约为 22 MPa)生产了粉煤灰无熟料砖,经自然养护 28 d,制品表面无龟裂,强度可达 150 号砖的要求,说明该产品对设备要求低,操作简单,适合工业化生产。

## 3 结 论

(1) 在粉煤灰-石灰-硫酸盐系统充分、快速地激发粉煤灰活性的基础上,采用合理的生产工艺,研制出性能优良的 150 号免烧免蒸无熟料粉煤灰砖。其生产工艺简单,投资小,经济效益显著,是取代粘土砖的一种新型墙体材料。

(2) 生产该粉煤灰砖可大量利用粉煤灰(粉煤灰的掺量达 75%),且对粉煤灰的质量要求低,可处理大量水泥和混凝土不能使用的粉煤灰,环境效益显著。

(3) 技术经济分析:原材料按市场平均价格,生产成本比灰砂砖低 35%~40%、比粘土砖低 50%~60%,估计综合成本约为 0.10 元/匹,可看出免烧免蒸无熟料粉煤灰砖具有明显的经济优势,使产品具有广阔的实际应用前景。

(下转第 59 页)

## 参 考 文 献

- 1 李树棠. 金属 X 射线衍射与电子显微分析技术. 中南矿冶学院, 北京: 冶金工业出版社, 1980
- 2 金属材料定量相分析——X 射线衍射  $K$  值法. 中华人民共和国国家标准 GB5225-85, 国家标准局, 1985
- 3 X-Ray Diffraction Procedures Klug and Alexander, 2nd Ed. 1974
- 4 南京大学地质系矿物岩石教研室编. 粉晶 X 射线物相分析. 北京: 地质出版社, 1980
- 5 L. S. Zevin, J. APPL. Cyst. 10(1977). 147; 12(1979). 582
- 6 F. H. Chang, J. APPL. Cyst. 7(1974). 519; 526

## Quantitative Phase Analysis of Weight Factors of X-ray Intensity

*Cheng Jingnong    Qing Lichuan*

(Dept. of Materials Science and Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

**Abstract** A new method is applied in this article to the quantitative phase analysis for weight factors of X-ray diffraction intensity. This method overcame the defect of traditional sampling and quantitative analysis method which only single out one plane web diffraction peaks for quantitative analysis from the phases of the sample to be tested. The method applied in this article is that the sample processing and taking measurements to the samples only once, then determining the weight factors by the intensity corresponding to  $n$  X-ray diffraction peaks from the phases of the sample to be tested. Thus we can get the relative percentage of each phase in the sample.

**Key Words** X-ray diffraction; weight factors; quantitative phase analysis

(上接第 48 页)

## 参 考 文 献

- 1 钱觉时, 等. 粉煤灰—石灰—硫酸盐系统. 新型建筑材料, 1998, 8
- 2 肖保怀. 常温常压粉煤灰活性激发的基本系统及其适应性研究. [学位论文]. 重庆建筑大学, 1997
- 3 王 智. 粉煤灰活性激发基本系统中石灰因素的研究. [学位论文]. 重庆建筑大学, 1998

## Research and Production of Non-Fired and Non-Steam-Cured Clinker-Free Fly Ash Bricks

*Lu Hao    Qian Jueshi    Meng Zhiliang    Wang Zhi*

(Dept. of Materials Science and Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

**Abstract** A fly ash brick is developed by using fly ash-lime-sulphate system as the binding material, added with certain quantities of aggregates and moulded by press, which can yield 28-day compressive strength up to 20 MPa under normal curing conditions. The factors affecting the strength of product are analyzed.

**Key Words** fly ash; non-fired and non-steam-cured; clinker-free; press forming