

文章编号: 1673-9469(2011)02-0038-02

# 粉煤灰聚合物的制备与性能分析

张鹏辉, 郑茂盛, 王攀  
(西北大学 物理学系, 陕西 西安 710069)

**摘要:**以粉煤灰为主要原料,用正交试验法探讨砂子、水泥、白灰掺量对粉煤灰地质聚合物强度的影响。采用适当的配比,其 28d 后抗折强度达到 5.28MPa,抗压强度达到 27.49MPa,可以应用于建筑的承重墙及其它承重建筑。

**关键词:**免烧免蒸;粉煤灰;正交试验

**中图分类号:** TU 502

**文献标识码:** A

## Manufacture and property research on unburned and non-autoclaved fly ash geopolymer

ZHANG Peng-hui, ZHENG Mao-sheng, WANG Pan  
(Physics Department of Northwest University, Shanxi Xi'an 710069, China)

**Abstract:** The fly ash were used as principal materials, the effects of the amount of the standard sand, cement and lime on the strength of geopolymers are studied by orthogonal test in the paper. The strength results of orthogonal test show that the flexural strength is 5.84MPa and compressive strength is 39.58MPa. It can be used in building load-bearing walls and other load-bearing construction.

**Key words:** unburned and non-autoclaved; fly ash; orthogonal test

随着电力工业的不断发展,粉煤灰的排放量也在迅猛的增长。目前,粉煤灰年排放量在  $1.6 \times 10^9$  t 以上,存存量超过  $10 \times 10^9$  t<sup>[1-3]</sup>。大量粉煤灰的堆积不仅占用了大面积的土地资源,而且对环境也造成了污染,对粉煤灰的综合利用已经成为一个刻不容缓的问题。本文通过优化配比,以粉煤灰为主要成分制作了免烧免蒸砖(以下简称双免砖),其性能优良,且生产成本低、工艺简单,适合大规模推广。

### 1 原料的性质

本试验所用的粉煤灰为西安热电厂的二级灰,其主要化学成分<sup>[4]</sup>见表 1。

水泥为陕西秦岭水泥(集团)股份有限公司生产的普通硅酸盐 42.5 号水泥。

白灰为钙质消石灰,其 MgO 含量 < 4%, (CaO + MgO) 含量 > 65%, 0.125mm 筛筛余量 < 10%, 符

合 JC/T481-92 建筑消石灰粉一等灰的要求。

表 1 粉煤灰的化学组成

Tab. 1 Compositions of the fly ash

组分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	Li
含量/%	49.72	35.27	5.20	4.10	0.95	0.97	3.79

减水剂为西安红旗混凝土外加剂厂生产的 AS 减水剂;石膏是以二水硫酸钙(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)为主要成分的矿石。

骨料采用普通建筑河砂,泥含量 < 5%,泥块含量 < 1%,表观密度约为 2 550kg/m<sup>3</sup>,符合国家技术标准 BG 14684-2001 建筑用砂 III 类砂的标准。

采用经过处理的无机纤维,其物理性能<sup>[5]</sup>见表 2。

收稿日期: 2011-09-30

作者简介: 张鹏辉(1984-),男,山西运城人,硕士研究生,从事粉煤灰地质聚合物材料研究。

表 2 经过处理的无机纤维的物理性能

Tab. 2 Physical properties of the inorganic fiber

导热系数 { W°(m°K) <sup>-1</sup>	莫氏 硬度	分解 温度 /°C	表面电 动电位 /mV	介电 常数	打浆度 /SR <sup>0</sup>	抗拉 强度 /MPa
0.46	2~3	450	+36.3	4.7~5.4	45	902

## 2 正交试验

经过前期的试验研究, 并进行分析后确定对双免砖性能影响较大的主要是水泥、砂子、白灰的含量<sup>[6-7]</sup>, 本文采用正交试验法来确定最佳性能的双免砖配比, 试验中所确定的各个因素及水平见表 3 所示。

表 3 正交试验因素及水平

Tab. 3 The factor and level of orthogonal

水平	因素		
	A 白灰	B 砂子	C 水泥
1	15%	15%	5%
2	18%	20%	7%
3	20%	25%	10%

根据正交试验设计, 选用三因素三水平的正交 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>), 并根据工艺流程压制成型后, 喷水养护 28d, 考察指标为抗折强度及抗压强度。试验方案及结果如表 4 所示。

表 4 正交试验方案及结果

Tab. 4 The program and result of orthogonal

序 号	因素			抗折强度 /MPa	抗压强度 /MPa
	A 白灰	B 砂子	C 水泥		
1	1	1	1	2.57	16.13
2	2	1	2	3.37	15.58
3	3	1	3	3.86	21.06
4	1	2	2	3.07	20.41
5	2	2	3	3.92	21.86
6	3	2	1	3.16	16.89
7	1	3	3	5.28	27.49
8	2	3	1	3.49	20.18
9	3	3	2	4.97	25.68

对正交试验数据进行极差分析(见表 5)可知, 砂子和水泥的含量对试验的结果影响较大, 为主要因素, 且当砂子、水泥含量分别为 25%、10%时

为最优水平; 白灰含量的影响为次要因素, 选取 15%~20%即可, 从节约成本及利用粉煤灰程度最大化考虑, 应选择 15%为宜。

表 5 极差分析表

Tab. 5 The table of range analysis

考察指标	计算分析	因素		
		砂子	水泥	白灰
抗	K1	3.27	3.07	3.64
折	K2	3.38	3.80	3.59
强	K3	4.58	4.35	3.99
度	R	1.31	1.28	0.40
抗	K1	17.59	17.13	21.34
压	K2	19.72	20.56	19.21
强	K3	24.45	23.47	21.21
度	R	6.86	6.34	2.13

## 3 试验优化

根据以上分析可以确定双免砖的最佳配比如表 6 所示。

表 6 双免砖的最佳配比

Tab. 6 The optimal ratio of unburned and non-autoclaved brick

成分	砂子	水泥	白灰	粉煤灰	石膏	减水剂	纤维
含量/%	25	10	15	43	5	1	1

根据以上配比压制成型的双免砖抗折强度可达到 5.28MPa, 抗压强度达到 27.49MPa, 满足 JC239-2001《粉煤灰砖》<sup>[8]</sup>(如表 7 所示)中 MU25 的要求, 可以应用于建筑的承重墙及其它承重建筑。

表 7 JC239-2001《粉煤灰砖》的强度要求

Tab. 7 Strength requirements of fly ash bricks JC239-2001

强度 等级	抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa	
	10 块平均 值≥	单块 值≥	10 块平均 值≥	单块 值≥
MU30	30.0	24.0	6.2	5.0
MU25	25.0	20.0	5.0	4.0
MU20	20.0	16.0	4.0	3.2
MU15	15.0	12.0	3.3	2.6
MU10	10.0	8.0	2.5	2.0

近年来建筑行业常用空心砖作为墙体主材, 其质轻、强度高、保温、隔音降噪性能好等优点得到了大家的一致认同, 用该配比(下转第 55 页)

65.

- [10] 张胜, 袁慧, 蒋晓昊. 膜生物反应器处理含盐生活污水的研究[J]. 河北工程大学(自然科学版), 2009, 26(4): 32—35.
- [11] 范茂军, 高乃云, 黄鑫, 等. PAC/超滤组合工艺处理常规工艺出水的中试研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(17): 84—86.
- [12] 董秉直, 曹达文, 范瑾初. 粉末活性炭—超滤膜处理

黄浦江原水的研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(11): 731—737.

- [13] 李永红, 张伟, 张晓健, 等. 超滤膜的污染控制研究进展[J]. 中国给水排水, 2009, 25(2): 1—4.
- [14] 王旭东, 梁玉龙, 王磊, 等. 超滤膜净化有机废水及在线水力清洗对膜污染的影响[J]. 工业水处理, 2010, 30(3): 48—50.

(责任编辑 马立)

(上接第39页)制作粉煤灰双免空心砖, 采用规格390mm×190mm×190mm, 空洞率可以达到15%以上, 这样可以大大节约成本, 更有利于提高生产效率。

## 4 结论

1)用正交试验法对试验方案进行设计优化, 试验效率高, 减少了人力和材料的浪费, 而且最大限度地排除了其它因素的干扰, 剪剪性强。能有效地进行比较, 做出调整, 使粉煤灰双免砖配比设计更加合理。

2)以粉煤灰为主要原料, 通过掺加适量的水泥、砂子、白灰和一定的外加剂, 经常温常压养护28d后, 抗折强度可达到5.28 MPa, 抗压强度达到27.49 MPa, 制成空心砖空洞率可达到15%以上。

## 参考文献:

- [1] 柯国军, 杨晓峰, 彭红, 等. 化学激发粉煤灰活性机理

研究进展[J]. 煤炭学报, 2005(3): 365—370.

- [2] 董发勤, 万朴, 潘兆鲁, 等. 纤维水镁石应用矿物学研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1997.
- [3] 张云升, 孙伟, 沙建芳, 等. 粉煤灰地聚合物混凝土的制备及其特性[J]. 混凝土与水泥制品, 2003(2): 13—15.
- [4] 苏玉柱, 杨静, 马鸿文, 等. 利用粉煤灰制备高强矿物聚合材料的实验研究[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 359.
- [5] 翁履谦, 宋申华. 新型地质聚合物凝胶材料[J]. 材料导报, 2005, 19(2): 67.
- [6] KHATE D, CHAUDHARY R. Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review[J]. Mater Sci, 2007(42): 729—746.
- [7] 井巍, 刘剑虹, 林枫. 粉煤灰地质聚合物的制备研究[J]. 高师理科学刊, 2006, 26(4): 40—42.
- [8] 苏玉柱, 杨静, 马鸿文, 等. 利用粉煤灰制备高强矿物聚合材料的实验研究[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 359.

(责任编辑 刘存英)

(上接46页)

- [51] LIU F L, ZHANG Z M, KATAYAMA I, et al. Ultrahigh—pressure metamorphic records hidden in zircons from amphibolites in Sulu terrane, eastern China [J]. The Island Arc 2003, 12: 256—267.
- [52] CHU HANG, WEI CHUNJING, SU SHANGGUO. Phase equilibria of HP—UHP mica—schists in Jiangling, eastern Dabieshan orogen [J]. Progress in Natural Science, 2009, 19: 973—982.

- [53] WHITE R W, POWELL R, HOLLAND T J B, et al. The effect of TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on metapelitic assemblages at greenschist and amphibolite facies conditions: mineral equilibria calculations in the system K<sub>2</sub>O—FeO—MgO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>—H<sub>2</sub>O—TiO<sub>2</sub>—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>[J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18: 497—511.

- [54] 张惠芬, 蔡秀成. 金红石中铁的存在形式的研究[J]. 矿物学报, 1988, 8(4): 348—357.

(责任编辑 马立)