

文章编号: 1000-6524(2001)04-0500-04

# 高掺量粉煤灰绿色建筑材料的开发应用

刘文永<sup>1</sup>, 付海明<sup>2</sup>, 张金涛<sup>3</sup>

(1. 北京市高水矿山工程与材料研究所, 北京 100083; 2. 中国矿业大学, 北京 100083;

3. 北京利鸿技术开发中心, 北京 100005)

**摘要:** 高掺量粉煤灰(掺量  $\geq 50\%$ )绿色建筑制品的研究开发是目前粉煤灰综合利用的重点开发研究课题。高掺量粉煤灰砖固化技术是高效高值利用粉煤灰的一项新技术, 具有显著的经济效益、社会效益和环保效益。本课题组发明的粉煤灰固化技术其粉煤灰掺量达到 85% 以上, 砖强度达到 10 MPa 以上。本文对粉煤灰砖的抗冻性能及其强度的影响因素进行了讨论。

**关键词:** 高掺量; 粉煤灰; 绿色建筑材料; 固化剂

**中图分类号:** X705

**文献标识码:** A

我国煤炭资源丰富, 能源生产目前仍以火力发电为主, 燃煤发电占 80% 以上, 2000 年全国排放粉煤灰约 1.6 亿吨<sup>[1]</sup>。然而, 目前我国粉煤灰的利用率还不到 30%。为了鼓励粉煤灰的综合利用, 国家出台了一系列优惠政策, 鼓励、引导、支持对粉煤灰综合利用的开发研究<sup>[2]</sup>。按照粉煤灰在固结材料中的质量比, 可将其划分为高掺量(质量比 50% 以上)、中掺量(质量比 30% ~ 50%)、低掺量(质量比 30% 以下)粉煤灰制品。由于粉煤灰含碳量以及呈细粉状等原因, 现在的粉煤灰掺量大都小于 30%。本课题组通过几年的实验研究, 发明了一套包括粉煤灰激活素、粉煤灰固化剂和粉煤灰固结材料的技术体系, 使粉煤灰掺量达到 85% 以上, 用粉煤灰固结剂与粉煤灰直接混合, 在常温常压条件下形成固结体, 用不同的设备挤压成各种形状的墙体材料, 如粉煤灰砖、砌块和隔墙板。应用该技术可将大量的工业固体废料——粉煤灰制成有用的新型建筑材料。

## 1 粉煤灰的化学成分

目前, 使湿排粉煤灰掺量超过 50% 的建筑材料达到承重标准是粉煤灰综合利用的重点研究方向。对几个电厂炉底湿排粉煤灰的研究表明, 湿排灰的主要特点是颗粒粗、活性低、低钙, 氧化硅和氧化铝含量超过 70%。对北京市电力粉煤灰公司湿排粉煤灰进行的化学成分分析结果(表 1)表明: CaO 含量低, 平均 3.33%; SiO<sub>2</sub> 平均含量 48.71%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 平均含量 35.86%; SiO<sub>2</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的总量占 84.57%, SiO<sub>2</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值为 1.36。

表 1 湿排粉煤灰化学成分分析

$w_B/\%$

Table 1 Chemical analyses of fly ash

| 样号   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | Loss | Σ     | SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------|--|--|
| JF1# | 49.69            | 35.30                          | 4.41                           | 3.10 | 0.91 | 3.13 | 96.54 | 1.41   | 84.99  |
| JF2# | 47.72            | 36.42                          | 5.06                           | 3.55 | 0.49 | 3.02 | 96.26 | 1.31   | 84.14  |
| 平均   | 48.71            | 35.86                          | 4.74                           | 3.33 | 0.70 | 3.08 | 96.40 | 1.36   | 84.57  |

收稿日期: 2001-06-05; 修订日期: 2001-09-20

作者简介: 刘文永(1954-), 男, 教授级高工, 从事矿山工程与材料研究。

## 2 粉煤灰固结材料强度的影响因素

### 2.1 养护条件对粉煤灰固结材料强度的影响

粉煤灰固化剂与湿排粉煤灰按质量比 1:4 配料, 搅拌加水, 混合均匀, 经压制制成试样。分别在 3 种不同条件下养护: ①在室内干燥条件下养护, 脱模后不再洒水; ②脱模后在 20℃水中养护; ③蒸汽中养护 3 小时后, 放在标准养护箱中养护。分别测定 3 种养护条件下 3 天、7 天、28 天的抗折、抗压强度, 结果(表 2)表明: 粉煤灰固结材料在经过蒸汽养护后其火山灰活性可以得到较好的发挥, 获得较高的强度指标, 28 天抗折强度比干燥养护提高 59%, 抗压强度比干燥养护提高 147%。

表 2 3 种养护条件下粉煤灰固结材料的强度

Table 2 Strength of fly ash solidified materials under three curing conditions

| 养护条件 | 配比  | 抗折强度/MPa |     |      | 抗压强度/MPa |      |      |
|------|-----|----------|-----|------|----------|------|------|
|      |     | 3 天      | 7 天 | 28 天 | 3 天      | 7 天  | 28 天 |
| 干燥养护 | 1:4 | 1.2      | 2.3 | 2.7  | 7.9      | 12.4 | 13.3 |
| 水中养护 | 1:4 | 1.4      | 2.6 | 3.8  | 8.2      | 15.7 | 24.6 |
| 蒸汽养护 | 1:4 | 2.6      | 3.1 | 4.3  | 16.7     | 21.5 | 32.9 |

### 2.2 粉煤灰固结材料的抗冻性

样品制备分别按照固化剂与粉煤灰质量比为 1:2.5、1:3、1:4、1:5、1:6 五种配比, 挤压成型, 经蒸汽养护 10 小时后室内放置 1 天。试样在 20℃水中浸 3 小时后, 在 -15℃冰室中冻 5 小时为一循环, 经 15 次循环后检测其抗压强度与对照组对比, 结果如表 3。

表 3 粉煤灰固结材料冻融试验结果

Table 3 Freezing-thawing experimental results of fly ash solidified materials

| 序号               | 配比    | 蒸养 10h 抗压强度/MPa | 冻融后抗压强度/MPa | 比较   |
|------------------|-------|-----------------|-------------|------|
| DR1 <sup>#</sup> | 1:2.5 | 41.3            | 43.9        | +6%  |
| DR2 <sup>#</sup> | 1:3   | 35.8            | 37.6        | +5%  |
| DR3 <sup>#</sup> | 1:4   | 27.5            | 33.2        | +20% |
| DR4 <sup>#</sup> | 1:5   | 18.1            | 20.7        | +14% |
| DR5 <sup>#</sup> | 1:6   | 13.7            | 12.1        | -12% |

通常人们认为粉煤灰砖抗冻性差, 冻融后其强度要下降, 质量有损失。试验结果却出人意料, 冻融后其强度非但没有降低, 反而提高。仅在强度低于 15 MPa 时, 冻融后强度下降, 对其抗冻性机理尚需进行更深入的研究。

### 2.3 固化剂掺量对粉煤灰固结材料强度的影响

固化剂掺量是影响粉煤灰固结材料强度的重要因素之一。试样中固化剂掺量分别为 10%、20%、30%、40%, 其成型条件相同, 蒸养 3 小时后自然养护, 测定其 3 天、7 天和 28 天的抗压和抗折强度, 试验结果如表 4。从试验结果可以看出, 随固化剂掺量增加, 固结材料强度提高的幅度不同。根据对产品的不同要求, 生产 MU 10~15 级的墙体砖选择的配比应为 15%~20%, 生产 30 MPa 以上的地砖宜选用 30% 的配比。目前工厂生产地砖所选的配比为 30%, 经检测产品达到一级品标准。

表4 不同掺量粉煤灰固结材料强度试验结果

Table 4 Strength tests of fly ash solidified materials in different proportions

| 序号               | 固化剂掺量/% | 抗折强度/MPa |      |      | 抗压强度/MPa |       |       |
|------------------|---------|----------|------|------|----------|-------|-------|
|                  |         | 3天       | 7天   | 28天  | 3天       | 7天    | 28天   |
| CF1 <sup>#</sup> | 10      | 1.41     | 2.56 | 2.87 | 3.74     | 6.83  | 8.77  |
| CF2 <sup>#</sup> | 20      | 2.74     | 3.90 | 4.49 | 9.01     | 13.48 | 19.17 |
| CF3 <sup>#</sup> | 30      | 3.19     | 4.71 | 6.25 | 18.35    | 23.51 | 39.29 |
| CF4 <sup>#</sup> | 40      | 4.34     | 4.93 | 6.37 | 21.66    | 34.45 | 41.36 |

### 3 固结粉煤灰建筑材料技术的特点

电厂粉煤灰的综合利用技术是一整套包括材料研究、工艺技术和生产设备配套的完整的技术体系。目前与北京市电力粉煤灰工业公司合作生产粉煤灰建筑材料项目具有如下显著特点:

(1) 生产工艺简单。用固化剂直接与粉煤灰混合,半干法挤压成型,经蒸养 7~10 小时或自然养护即可制成产品。

(2) 设备投资小。采用国产设备和生产线,设备投资小,企业负担轻,与进口设备比较,大幅度降低建厂的初期投资,特别适合电厂比较分散的条件。

(3) 粉煤灰掺量高。粉煤灰掺量达到 80% 以上,可大量消纳粉煤灰,年产 4 500 万块标砖,可利用粉煤灰 7.5 万吨,是一项高效率利用粉煤灰的技术。

(4) 容重低。每块标砖重 1.9~2.0 kg,按每立方 630 块计容重为 1 260 kg/m<sup>3</sup>,比粘土砖轻 15%~20%。容重降低后,砖的保温隔热性提高。

(5) 生产成本低。由于采用大量的工业废料粉煤灰为主要原材料和国产生产设备生产,粉煤灰砖的成本大幅降低,与其他新型墙体材料相比,生产成本最低。因此,高掺量粉煤灰砖的研制成功,不但解决了粘土砖禁产后的产品空缺,而且是高效高值利用粉煤灰的一项新技术。

(6) 抗冻性好。高掺量粉煤灰砖经过 15 次冻融循环后,强度不但没有降低反而有所提高。这对于北方地区大规模利用粉煤灰生产建筑材料创造了条件,特别是消除了人们源于粉煤灰砖经不住冻的传统观念而产生的疑虑。试验结果说明它与传统的混凝土材料完全不同,在反应生成物的组成、微观结构、生成物稳定性等方面,尚需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 王智,卢浩,钱觉时.可持续发展与粉煤灰的建材资源化[J].粉煤灰综合利用,1999,(2):42~45.  
 [2] 陈福广,沈荣熹,徐洛屹.新型墙体材料手册[M].北京:中国建材工业出版社,2000,559~642.

## Research on the Exploratory Development of Green Building Materials with High Content of Fly Ash

LIU Wen\_yong<sup>1</sup>, FU Hai\_ming<sup>2</sup> and ZHANG Jin\_tao<sup>3</sup>

(1. Beijing Gaoshui Institute of Mining Engineering and Material, Beijing 100083, China; 2. China University of Mining Technology, Beijing 100083, China; 3. Beijing Lihong Center of Technology Development, Beijing 100005, China)

**Abstract:** At present, the exploratory development of green building goods with high content of fly ash is an important research topic in which fly ash is used comprehensively. High content of fly ash means that the quantity of blended fly ash is not lower than 50 percent of the weight of bricks. The technique of solidifying fly ash invented by us will make the quantity of fly ash amount to 85 percent of the weight of bricks whose compressive strength exceeds 10 Mpa. In this paper, the factors affecting frost resistance and compressive strength of the fly ash brick are discussed. The technique is a new means, which utilizes fly ash effectively and exhibits notable economic, social and environmental results.

**Key words:** high content; fly ash; green building materials; firming agent

www.yskw.ac.cn