

# Research on the Application of Ultra Fine Fly Ash in Cement Production

Haiyan Zhang

Kuqa Qingsong Cement Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 842000, China

## Abstract

In China, the fly ash generated by thermal power plants mainly contains compounds such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , etc. Ultra fine fly ash is a widely used material in the cement production process. It is obtained by grinding, grading and other processes using fly ash as the raw material, with small particles and activity. Ultra fine fly ash can not only replace part of cement raw materials, but also improve the process properties of cement and improve the mechanical properties of cement; Ultra fine fly ash characteristics and precautions to improve chemical erosion, reduce the temperature rise of concrete, conducive to concrete durability, high growth rate of concrete strength in the later period.

## Keywords

ultra fine fly ash; cement production; application research

# 超细粉煤灰在水泥生产中的应用研究

张海岩

库车青松水泥有限责任公司, 中国·新疆阿克苏 842000

## 摘 要

在中国, 火电站产生的粉煤灰主要含有的化合物包括二氧化硅 ( $\text{SiO}_2$ )、氧化铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、一氧化铁 ( $\text{FeO}$ )、三氧化二铁 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、氧化钙 ( $\text{CaO}$ )、二氧化钛 ( $\text{TiO}_2$ ) 等。超细粉煤灰是一种在水泥生产过程中广泛应用的材料, 它是以粉煤灰为原料经过研磨、分级等工艺得到的, 颗粒细小且具有活性。超细粉煤灰不仅可以替代部分水泥原料, 还可以改善水泥的工艺性能和提高水泥的力学性能; 超细粉煤灰特性及使用时的注意事项提高化学侵蚀性, 降低混凝土温升, 有利于混凝土耐久性, 混凝土强度后期持续增长率高。

## 关键词

超细粉煤灰; 水泥生产; 应用研究

## 1 引言

国家发展和改革委员会颁布了《粉煤灰综合利用管理办法》, 该办法自 2013 年 3 月 1 日起开始实施。在该文档的第十六条中, 特别提倡将粉煤灰用于高增值和大规模应用, 具体措施包括: 提倡从高铝粉煤灰中提取氧化铝及其他相关产品的发展; 推进在大量掺加粉煤灰的情况下生产新型墙体材料的技术; 推荐使用粉煤灰作为水泥的混合材料, 并用以替代生料中的粘土; 以及将粉煤灰用作商品混凝土的掺合料等策略。粉煤灰作为一种在水泥应用中已经相当普遍的材料, 是有效利用大量粉煤灰的一个重要方式。关于如何进一步提升粉煤灰在水泥中的应用性能, 从而增加其使用量的讨论一直是研究的重点。而作为一种高性能水泥混合材料的超细粉煤灰, 其应用前景看起来更加光明。近年来, 随着城市化的快速发展和人们对环境要求的提高, 水泥生产过程中

的环保问题备受关注。超细粉煤灰作为一种重要的工业废弃物资源化利用方式, 在水泥生产中得到了广泛的应用。它不仅替代部分水泥原料, 降低能耗和二氧化碳排放, 还能提高水泥的力学性能和耐久性。因此, 对超细粉煤灰在水泥生产中的应用进行研究具有重要的理论和实际意义。

粉煤灰的密度一般为  $1.8\sim 2.6\text{g/cm}^3$ , 松散容重为  $600\sim 1000\text{kg/m}^3$ , GB/T 1596—2005《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》提出粉煤灰的技术要求。从煤粉炉烟道气体中收集的粉末, 分为 F 类和 C 类。F 类粉煤灰如表 1 所示。

## 2 超细粉煤灰的应用

超细粉煤灰拥有的比表面积一般为  $700\text{m}^2/\text{kg}$ , 其  $32\mu\text{m}$  筛余率仅为 8%, 这一数值显著低于国家标准对一级粉煤灰  $45\mu\text{m}$  筛余 12% 的要求, 表明其细度远超传统一级粉煤灰。在水泥产业中, 尽管通常会把电站筛选出的粗粉煤灰与熟料、石膏等材料混合粉磨, 或将粗灰细磨后混入水泥中制成一、二级粉煤灰, 但将粗灰加工成超细粉煤灰的做法还不多见。

【作者简介】张海岩 (1973—), 男, 中国甘肃陇南人, 助理工程师, 从事水泥材料工程研究。

表 1 F 类粉煤灰

| 指标                        | 级别               |     |     |
|---------------------------|------------------|-----|-----|
|                           | I                | II  | III |
| 细度 (0.045mm 方孔筛筛余), % 不大于 | 12               | 25  | 45  |
| 需水量比, % 不大于               | 95               | 105 | 115 |
| 烧失量, % 不大于                | 5                | 8   | 15  |
| 含水量, % 不大于                | 1                |     |     |
| 三氧化硫 不大于                  | 3                |     |     |
| 游离氧化钙, % 不大于              | F 类, 1<br>C 类, 4 |     |     |
| 安定性 (雷氏夹沸煮后增加距离), mm 不大于  | C 类, 5           |     |     |

通过分析,我们发现将原灰或粗灰磨细到比表面积达到  $700\text{m}^2/\text{kg}$ ,能够显著增强其在工业应用中的价值:

①这种处理方式能显著增强粉煤灰的活性。相较于传统的混合磨粉工艺,使用单独超细磨粉的技术制备水泥时,能够显著增加粉煤灰的掺加量。超细粉煤灰能够因其物理形态效应和微细粉粒的密实填充效应提高水泥的早期强度,同时,因为粒径小且易于水化,能与水泥水化过程中产生的  $\text{Ca}(\text{HO})_2$  发生二次水化反应,进一步提高水泥石的后期强度。

②超细粉煤灰的应用不会增加甚至可能降低水泥的需水量。由于超细粉煤灰的粒径远小于水泥粒径,其能够通过密实填充效应将水泥孔隙中的水分置换出来,从而抵消了因比表面积增大而可能需要的额外水分。在添加了高效减水剂和维持低水灰比的情况下,这一特性能够提升水泥的工作性,实现约 10% 的减水效果,等同于通常减水剂的功效<sup>[1]</sup>。

③超细粉煤灰与高效减水剂的共同使用,可以制备出高强度砂浆和高性能混凝土,这些混凝土不仅具有高强度和高耐久性,还能抵抗硫酸盐腐蚀,适用于泵送等多种条件。

### 3 超细粉煤灰的定义和价值

#### 3.1 超细粉煤灰的定义和特性

超细粉煤灰是指经过高温煤矸石的燃烧、粉碎和细度分级处理后得到的具有细胞活性的非金属矿物质。其主要特性包括以下几个方面:

①细度高:超细粉煤灰的颗粒尺寸较小,平均直径一般在  $1\sim 10\mu\text{m}$ 。这种高度细致的颗粒使其在水泥中的分散性和反应活性增强。

②活性好:超细粉煤灰具有较高的活性,即具有良好的开发潜力,能够与水泥中的硅酸盐胶体发生反应生成新的胶体,并以胶原形式填充孔隙,改善水泥基材料的力学性能和耐久性。

③硅铝含量高:超细粉煤灰中含有大量的二氧化硅、三氧化二铝等成分,这些成分与水泥中的水化产物反应后,可形成强度更高、早期强度更快的水泥石。

④改善流动性:超细粉煤灰的添加能够改善混凝土的

流动性,使其在施工过程中更易于浇注和振捣,提高施工效率。

#### 3.2 超细粉煤灰在水泥生产中的应用价值和作用

超细粉煤灰在水泥生产中具有重要的应用价值和作用。

一方面,超细粉煤灰是一种优质的水泥掺合料,可以替代部分水泥来生产高性能的水泥制品。其颗粒细小且分散均匀,能增加混凝土的流动性和减少内部渗透力,改善混凝土的工作性能和耐久性。此外,超细粉煤灰还可以填充混凝土中的细微孔隙,提高混凝土的密实度和抗渗性能。

另一方面,超细粉煤灰可以减少水泥生产对原材料的需求,降低水泥生产过程中的能耗和碳排放量。由于超细粉煤灰的利用,水泥生产过程中所需的煅烧石灰的数量减少,从而减少了对石灰石等矿石资源的开采和燃料的消耗。同时,在煅烧过程中也大大降低了二氧化碳的排放量,有利于减缓全球气候变化<sup>[2]</sup>。

### 4 煤灰来源和性质

超细粉煤灰是指颗粒细度小于  $20\mu\text{m}$  的煤燃烧产物,广泛应用于水泥生产中。其煤灰来源和性质是影响其在水泥生产中应用的重要因素。

煤灰来源:煤灰主要来自煤燃烧过程中的煤中含有的无机杂质。不同种类的煤炭燃烧所生成的煤灰具有不同的来源。例如,烟煤燃烧产生的煤灰中通常富含二氧化硅和铝酸盐,而褐煤燃烧所产生的煤灰则富含碳酸盐和氢氧化铁。

煤灰性质:超细粉煤灰的性质受到煤种、煤炭燃烧条件和煤灰处理方式等多种因素的影响。

化学成分:煤灰中的主要化学成分包括二氧化硅、氧化铝、氧化钙等。不同的煤种和煤炭燃烧条件会导致煤灰中化学成分的差异。

物理性质:超细粉煤灰的颗粒细度较小,比表面积大,具有较好的活性和反应性。此外,颗粒形状、孔隙率等物理性质也会对其在水泥生产中的应用产生影响。

矿物相组成:煤灰中还包含着各种矿物相,如硅酸盐、氢氧化铁等。不同的矿物相含量和组成也会对煤灰的性质和水泥生产中的影响有所差异。

### 5 超细粉煤灰对水泥性能的影响

根据相关研究,超细粉煤灰在水泥生产中的应用可以显著提高水泥的耐久性和力学性能。

首先,超细粉煤灰具有较高的活性和反应性,在水泥中通过填充和形成更多的水化产物,使得水泥胶凝体系更加致密,增强了水泥的强度和抗渗透性。此外,超细粉煤灰的微细颗粒可以填充水泥胶凝体系中的孔隙,降低了水泥砂浆的孔隙率,提高了水泥的密实性和耐久性<sup>[3]</sup>。

其次,超细粉煤灰中的高活性硅酸是一种优质的硅酸盐材料,与水泥中的  $\text{C}_3\text{S}$  和  $\text{C}_2\text{S}$  反应生成更多的水化产物,促进了水泥胶结相的形成和发展。这些水化产物填充了水泥

中的孔隙,增加了水泥砂浆的内聚力和强度,提高了水泥的抗压、抗拉和抗弯等力学性能。

最后,超细粉煤灰还可以减缓水泥反应过程中的温升,降低水泥的水化热释放,改善了水泥的温度应力性能。这对于大体积混凝土结构的抗裂性能有着重要的作用。

总之,超细粉煤灰的应用可以显著提高水泥的耐久性和力学性能,对于推动节能环保型水泥的发展具有重要意义。当然,在实际应用中,还需根据具体情况进行配比和施工控制,以充分发挥超细粉煤灰对水泥性能的优化作用。

## 6 超细粉煤灰在环境保护和资源利用方面的作用

### 6.1 减少水泥生产过程中的二氧化碳排放

超细粉煤灰在环境保护和资源利用方面起着重要的作用。首先,它能够有效减少水泥生产过程中的二氧化碳排放。正常的水泥生产过程会释放大量的二氧化碳气体,对全球温室效应贡献较大。而添加适量的超细粉煤灰可以替代部分水泥,降低熟料的烧结温度,从而减少能耗和二氧化碳的排放。据统计,每替代1%的水泥熟料,可节约3万t左右的二氧化碳排放量。

### 6.2 提高水泥产品的强度和耐久性

超细粉煤灰作为一种优质的矿山尾矿资源,在掺入水泥中可以提高水泥产品的强度和耐久性。其微细颗粒的填充作用能够使水泥石中的孔隙减少,提高水泥胶凝材料的紧密性。此外,超细粉煤灰中含有丰富的硅酸盐和铝酸盐等活性物质,与水泥中的钙化合生成胶凝物,增加了水泥石的结构稳定性和抗腐蚀性。

### 6.3 促进煤电工业的可持续发展

超细粉煤灰作为煤电工业的副产品,其资源利用可以促进煤电工业的可持续发展。传统的煤电厂常常无法有效处理粉煤灰产生的废渣,导致资源浪费和环境污染。而将超细粉煤灰应用于水泥生产中,不仅实现了废弃物的资源化利用,还减轻了对环境的负荷,达到了节能减排的目的。

### 6.4 增加水泥生产的经济效益

超细粉煤灰的使用不仅有助于环境保护和资源利用,还可以增加水泥生产的经济效益。由于超细粉煤灰的添加可以降低水泥熟料的能耗,减少燃料成本。同时,其改善了水泥产品的品质,提高了市场竞争力,从而带来了额外的经济收益。

## 7 超细粉煤灰应用前意

与传统的共同磨粉或一般细磨相比,通过对粉煤灰

进行超细磨粉处理能够显著提高其性能。根据不同地区粉煤灰的磨粉难易程度,生产超细粉煤灰的平均电耗预计在45~55kWh/t。尽管粉煤灰的原料成本因地而异,但生产超细粉煤灰的成本通常约为水泥生产成本的一半。通过在成品水泥中添加10%~20%的超细粉煤灰,不仅能保持水泥的性能不变,还能将水泥的生产成本降低5%~10%。如果使用高比例掺杂的粉煤灰水泥,成本降幅将更大。同时,这种做法还能享受国家提供的资源综合利用优惠政策,从而在经济效益上尤为突出。此外,从环保的角度来看,这种应用具有重要的现实意义,因此其应用潜力非常广阔。

## 8 粉煤灰在混凝土中

粉煤灰的活性主要源自其内含的玻璃质成分,这些成分能与水泥水化时产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进行二次水化反应,生成C-S-H和C-A-H、以及水化硫铝酸钙。这一过程不仅加强了混凝土的界面过渡区域,还提升了混凝土的长期强度,实现了填充效果和密实作用。由于粉煤灰是在高温下形成的稀有产物,其颗粒细小且硬度高,分散在水泥浆中可显著增加混凝土的密实度。粉煤灰的需水量和减水效果主要得益于其球形玻璃珠颗粒的存在,这些颗粒类似于“滚珠轴承”,能够改善混凝土的可工作性,减少单位体积混凝土所需的水量,减少水泥浆体硬化后的干缩,从而增强混凝土的抗裂能力。此外,粉煤灰能够降低混凝土早期的温度上升,减缓开裂,特别适用于大体积混凝土项目。通过二次水化反应和减少水泥熟料的用量,混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量大幅降低,有效增强了混凝土对化学腐蚀的抵抗力。当粉煤灰的掺量足够大时,还能明显减轻混凝土碱骨料反应问题,减少氯离子的渗透,提升混凝土对钢筋的保护能力。这些效果在水胶比低于0.42的情况下尤为显著。

## 9 结语

综上所述,超细粉煤灰在环境保护和资源利用方面的作用不可忽视。通过减少二氧化碳排放、提高水泥产品品质和耐久性、促进煤电工业的可持续发展以及增加经济效益,超细粉煤灰为水泥生产带来了诸多益处,对于推动可持续发展具有积极而重要的意义。

## 参考文献

- [1] 王军龙,陶涛,张抖,等.超细粉煤灰在水泥生产中的应用途径研究[J].水泥,2022(12):5-9.
- [2] 李益进.铁路预应力桥梁超细粉煤灰高性能混凝土的研究与应用[D].长沙:中南大学,2005.
- [3] 高虹.超细粉煤灰水泥生产应用研究[Z].2023.