

粉煤灰空心微珠的成分和物理性质研究

肖金凯 戴逢福 周 正

张惠芬 陈大梅

空心微珠为燃煤电厂粉煤灰中一种颗粒细小、空心的球形玻璃体。漂浮于水面的称为漂珠，沉于水下的为沉珠。两者的总和一般占粉煤灰的30~50%。主要以沉珠为主，漂珠含量一般在0.5%以下。各电厂空心微珠的含量和质量随燃煤类型、煤的矿物组成、锅炉燃烧温度、燃烧方式和炉膛气体扩散速率的变化而异。

(一) 空心微珠的成分

(1) 漂珠的化学成分 依据我们对贵州省的贵阳、清镇、遵义、水城四大电厂粉煤灰中漂珠的化学全分析资料表明，漂珠的主要成分为硅、铝氧化物，质量好的漂珠两者之和能达到90%左右，质量差的漂珠只有70—80%。在 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 二元系相图中，它属于粘土质耐火材料的范畴。漂珠中的铁含量，一般随粒度的减小而降低，铝的含量则随粒度的减小而增加，漂珠中的铁、铝含量明显决定漂珠质量的高低。其他元素含量均不高，一般情况下， TiO_2 和 $\text{CaO} < 3\%$, $\text{K}_2\text{O} < 2\%$, $\text{Na}_2\text{O} < 0.5\%$, $\text{MgO} < 1.5\%$, MnO 和 P_2O_5 都在0.1%以下。此外，还有极少的Cu、Zn、U等。烧失量变化较大，可从0.2%变化到5%以下，漂珠中的杂质元素含量一般受原煤化学成分所控制。

(2) 漂珠的矿物成分 80%左右为玻璃体，在结晶相中主要是莫来石，约占10—15%。在各种漂珠和沉珠样品中，莫来石的X射线的主要和次要峰均有出现。结晶相中的另一矿物为石英。石英在沉珠中的含量明显多于漂珠中的含量。另外，在结晶相中还有极少量的单斜铁辉石(FeSiO_3)，主要谱线是3.03 Å、3.35 Å和3.23 Å。无论是沉珠还是漂珠，也不论漂珠质量的好坏，都含有少量的单斜铁辉石。

(二) 空心微珠的物理性质

1. 外形和颜色 用光学和电子显微镜观察表明，漂珠为中空的球体，壳体厚度为2—10 μm，占半径的5—10%。呈灰-灰白色，颜色随含铁量的增加而加深。颗粒愈细，白度愈高。

2. 质轻 这是漂珠最显著的特征之一。视密度一般为350—700 kg/m³，松密度为250—400 kg/m³。

3. 粒细 粒径一般为50—200 μm，各电厂之间稍有差别，但都具有一个特定的峰值区。贵州四大电厂中以遵义电厂的最细。

4. 反射光谱 在340—800 nm范围内，反射率随波长变化不明显，几乎为直线关系。在同一电厂中，反射率随粒度的减小而增加，而各电厂漂珠的反射率彼此差别较大，明显

受铁含量所控制。铁含量愈低，反射率愈高，白度愈大，构成漂珠质量鉴别的重要标志。

5. 红外光谱 漂珠的红外光谱主要反映了莫来石和玻璃体的吸收谱带。 550cm^{-1} 处谱带的强弱反映了漂珠质量和形成温度的相对高低。在沉珠的图谱上，还能清楚辨别出石英的一些特征吸收谱带。

6. 穆斯堡尔谱 漂珠无论质量高低都含有一定的铁，而结晶相中的单斜铁辉石又极少，大量的铁存在何处？穆斯堡尔谱研究表明，它们是以二价铁的形式存在于玻璃体中。含铁高(15.16%)和含铁低(2.60%)的漂珠都能见到两个很宽或很平缓的 Fe^{2+} 谱线，其形态与玄武岩玻璃体的谱图类似。这一结果证实，在以往文献里把漂珠中的铁示为 Fe_2O_3 的概念是错误的。

7. 电学特性 漂珠具有优良的电绝缘性质, 100°C时电阻率可达 $3.2 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 。它的电阻热效应也很优异, 即随温度的增加, 绝缘电阻也增加。50°C时为 $9.9 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$, 到200°C可达 $2.7 \sim 4.3 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 。而一般的绝缘材料是当温度升高, 绝缘电阻要下降。质纯的漂珠还具有优异的介电性质, 它们的介电常数和介电损耗都很小, 并随铁含量的减小而减小。沉珠的介电常数和介电损耗都比漂珠大。

8. 热学性质 在常温下, 漂珠的导热系数为 $0.0628\text{--}0.1161\text{W/m}^2\text{K}$, 随温度的升高导热系数增大。 1000°C 时可达 $0.181\text{--}0.190\text{W/m}^2\text{K}$ 。在 $-18\text{--}70^\circ\text{C}$ 范围内, 常压下漂珠的表观导热系数为膨胀珍珠岩的两倍, 但在低真空条件下, 反而低于膨胀珍珠岩, 导温系数要低于棉花, 与硅纤维的导温系数相当。松散粉料的热导率为 $0.10\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, 容积比热为 $4.0 \times 10^5\text{J/kg}$ 。漂珠还具有较高的耐火度以及较好的阻燃性和自熄性。

9. 耐压强度 漂珠具有一定的耐压强度，颗粒愈细，耐压强度愈高。沉珠的耐压强度比漂珠高得多，粒径 $2\mu\text{m}$ ，其壁厚为粒径30%的沉珠，可承受 $6.89 \times 10^8 \text{ Pa}$ 的静水压力。

由于粉煤灰空心微珠特别是漂珠具有上述一系列特殊的物理化学性质，自发现到如今近20年，已越来越为人们所关注，在应用范围内显示出广阔的前景，并取得较好的经济效益和社会效益。

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF CENOSPHERES IN COAL ASH

Xiao Jinkai Dai Fengfu Zhou Zheng
Zhang Huifen Chen Damei

Abstract

The main constituents of cenospheres in coal ash are silica and alumina (about 90 wt.%). Aluminum increases and iron decreases with decreasing particle size. These cenospheres are light in weight (the apparent density 0.4—0.79 cm⁻³). The fine grains (20—200 microns in diameter) have very good electrical ($R = 3.2 \times 10^{13} \Omega \text{cm}$ at 100°C, $\epsilon' < 2$, $\epsilon'' < 10^{-3}$) and thermal (specific heat 0.28 cal/g.°C), thermoconductive (0.054—0.0998 kcal/m.h.°C) properties, higher refractivity and pressure-resistance. Therefore, it may find wide application in material industry.

聚丙烯酸 (二)

聚丙烯酸是一种具有良好的柔韧性和延展性的高分子聚合物，其分子量一般在10万以上。聚丙烯酸是由丙烯酸单体经自由基聚合而成的线性高分子化合物，其结构式为：
 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$

| 分子量 | 密度 | 熔点 | 软化点 | 沸点 |
|------|---------|-------|-----|--------|
| 600 | 1.012.2 | 216.2 | 200 | 325.11 |
| 9100 | 0.992.2 | 195.2 | 180 | 311.2 |
| 900 | 0.990.2 | 200.2 | 160 | 308.2 |
| 6112 | 0.979.1 | 200.1 | 140 | 313.2 |
| 116 | 0.957.1 | 207.1 | 100 | 311.2 |
| 5117 | 0.917.1 | 217.1 | 90 | 312.2 |
| 5117 | 0.917.1 | 217.1 | 80 | 312.2 |
| 822 | 0.909.1 | 208.2 | 70 | 308.2 |
| 5111 | 0.906.1 | 200.1 | 60 | 305.2 |
| 9187 | 0.905.1 | 195.1 | 50 | 317.2 |
| 5110 | 0.905.1 | 195.1 | 40 | 302.2 |