

无电晕式高温高压电除尘器阴极电发射特性试验研究

(东南大学热能, 江苏 南京 210096) 顾中铸 杨亚平 黄慧芬 刘孝国 魏启东 蔡 崧

摘 要: 在不同的温度、压力、电压条件下, 对所开发出来的阴极材料进行了电发射特性的试验研究。研究表明, 温度、压力、电压对发射电流均有不同程度的影响, 在高温($> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$)条件下, 由阴极材料热发射所获得的电流密度, 比通过电晕方式所得到的电流密度至少高一个数量级。发射极具有良好的稳定性, 可在高温高压下长期使用。无电晕式静电除尘器在高温高压环境下具有良好的除尘效果。

关键词: 电晕; 高温高压; 阴极; 静电除尘器; 发射电流

中图分类号: TU834.6⁺32

文献标识码: A

1 引言

随着工业技术水平的不断提高, 尤其是煤气化、高炉煤气净化、增压流化床联合循环发电等技术的发展, 高温高压除尘技术的应用愈来愈广泛。国内高温除尘主要采用旋风式除尘器, 受材料限制, 其运行温度小于 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, 且对于细灰($< 10\text{ }\mu\text{m}$)的捕集能力较弱。东南大学热能所曾经进行过高温电除尘技术的研究。电晕式静电除尘器的主要缺点在于它只有产生电晕才能使粉尘荷电, 而产生电晕需要足够的电场强度, 而且电场强度是非常不均匀的, 这就带来了电晕线断线和电击穿等一系列问题, 这在高温下尤其严重。同时用电晕所获得的电流密度较小, 相应地除尘器的体积较大, 其成本也就随之提高。与电晕式静电除尘不同, 无电晕式电除尘采用阴极材料的热发射电流使粉尘荷电, 后者比前者电流密度高得多, 因而体积大大缩小了, 同时其高温电绝缘问题也易于解决。本文在不同的温度、压力、电压条件下, 对所开发出来的阴极材料的电发射特性进行了较为详细的实验研究。同时, 为了探讨无电晕式静电除尘器的实际效果, 还进行了除尘实验。

2 工作原理与试样制备

无电晕式高温高压静电除尘原理是利用逸出功较低的材料, 在高温条件下稳定地发射电子, 使粉尘荷电, 然后使其在强电场下被捕集。根据分子热物理理论, 任何物质在高温条件下都具有一定程度的热电离, 但只有当温度达到临界发射温度时, 才能大量地发射电子。不同的物质具有不同的临界发射温度, 可用作发射极的材料, 除了电离电位要低外, 还必须具有高温热性能好和价格低等优点。试样的制备过程如下:

- (1) 将耐高温基体金属板清洗、烘干并烧至 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。
- (2) 将发射材料磨细, 然后加入适量的高温粘合剂, 再加入有关溶剂并混合均匀。
- (3) 将以上混合物均匀地喷涂在基体金属板上, 然后烧结。

3 阴极电发射特性试验结果与分析

在高温高压烟气环境下, 阴极板如何稳定地发射出电子是本除尘系统的关键技术之一。为此, 我们在一系列不同的温度、压力和电压条件下, 对所研制出来的阴极材料进行了大量的电发射性能试验研究, 试验电极的直径为 11.1 mm , 阳极板尺寸为 $25\text{ mm}\times 25\text{ mm}$, 极间距为 19 mm 。实验是在一台自行设计的静态试验台上进行的, 该试验台加热功率为 4 kW , 设计耐压为 0.6 MPa , 内通道尺寸为 $\Phi 60\text{ mm}$, 外加电压最高可达 $3\text{ }000\text{ V}$ 。试验结果见图 1~4。

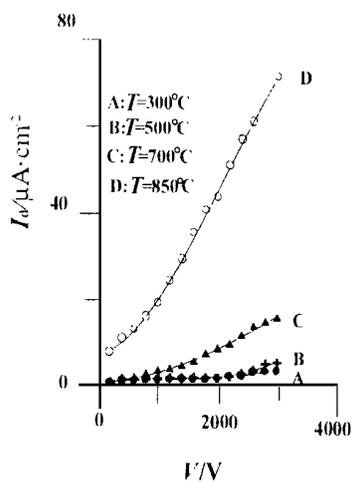
3.1 电流密度与极间所施加电压的关系

图 1(a) 和 (b) 分别给出了在给定压力, 不同温

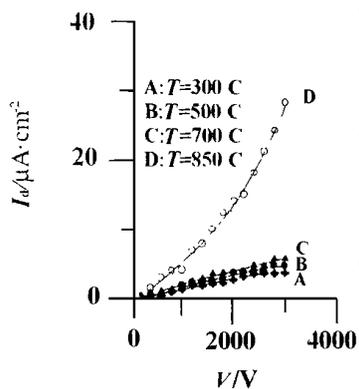
收稿日期: 1999-01-19; 修订日期: 1999-06-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59776049)

作者简介: 顾中铸(1963-), 男, 合肥人, 合肥经济技术学院教师, 东南大学博士研究生。

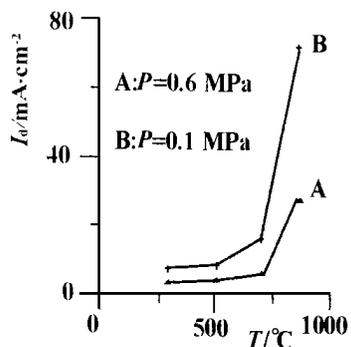


(a) $P = 0.1 \text{ MPa}$

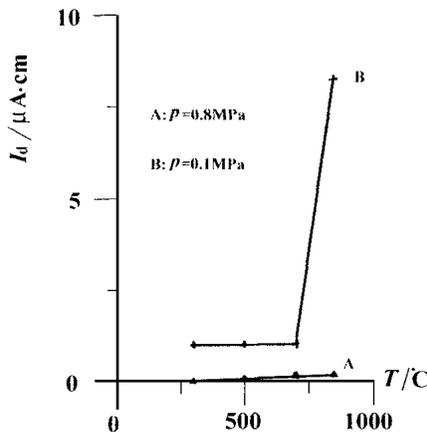


(b) $P = 0.6 \text{ MPa}$

图 1 不同条件下的阴极伏安特性曲线



(a) $V = 3000 \text{ V}$



(b) $V = 200 \text{ V}$

图 2 发射电流密度随温度的变化规律

度条件下, 阴极板发射电流密度与极间所施加的电压之间的关系。由此可以发现:

3. 1. 1 在任何温度、压力下, 阴极板的发射电流密度(单位面积所发射的电流强度)与所施加的电压成正相关关系, 这与电晕式静电除尘的情形完全一致。

3. 1. 2 电压、温度恒定, 压力越大, 发射电流密度越小。这说明环境压力增加, 阴极板的电发射能力下降。

3. 1. 3 电压、压力恒定, 温度越高, 发射电流密度越大。

在较低的温度($\leq 700 \text{ }^\circ\text{C}$)下, 发射电流密度很低, 此时其伏安特性与一般除尘器的伏安特性几乎没有区别; 当温度达到 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 电流密度急剧增加, 表明此时阴极板发射出了大量的电子, 亦即阴极板的热发射临界温度低于 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

3. 1. 4 在较高的温度($850 \text{ }^\circ\text{C}$)下, 只需施加较低的电压($< 3000 \text{ V}$), 即可获得较高的发射电流密度($> 20 \text{ } \mu\text{A}/\text{cm}^2$)。

因此, 无电晕式静电除尘器可在低电压下运行, 从而使得高温高压环境下的电绝缘问题变得容易解决, 确保设备安全、可靠地工作。

3. 2 电流密度与温度的关系

图 2 给出了不同电压、不同压力下, 阴极板发射

电流密度随温度的变化曲线, 由此可以看出:

3. 2. 1 在低温下, 发射电流密度随温度的上升而增大的速率较慢; 而当温度超过 $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 温度增加, 发射电流密度急剧上升, 表明阴极

板的临界发射温度为 $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右。

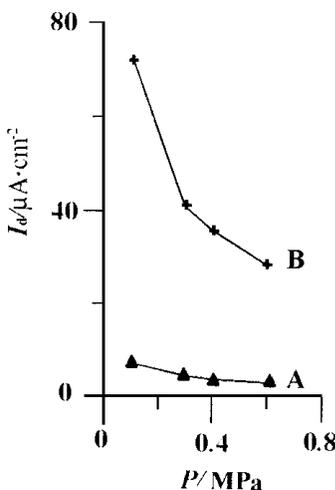
3. 2. 2 与低压相比, 高压时温度对发射电流密度的影响较小。

3. 3 电流密度与压力的关系

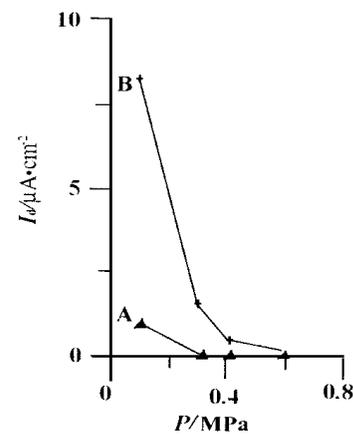
图 3 为不同的电压和温度条件下, 发射电流密度随压力的变化规律。由此可见:

3. 3. 1 压力较低时, 发射电流密度随压力增加而急速下降; 而随着压力的增加, 发射电流密度降低的速率越来越慢。

3. 3. 2 与低温时相比, 在高温状态下压力对发射电流密度的影响比较显著。这是因为低温时, 阴极板的电发射能力很弱, 压力波动对其发射电流大小的影响不明显; 但当温度较高超过其临界发



(a) $V = 3000 \text{ V}$



(b) $V = 200 \text{ V}$

图 3 发射电流密度随压力的变化规律

射温度时, 阴极材料发射出大量的电子, 压力稍有改变, 就会对最终电流密度产生较大的影响, 这在低压下尤为明显。

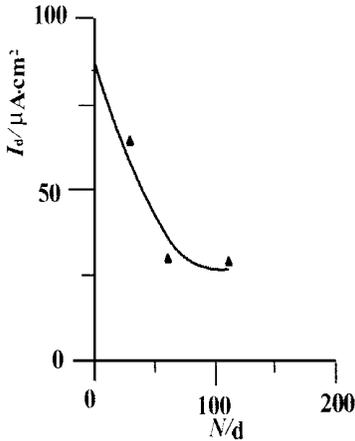


图 4 发射电流密度随时间的变化曲线

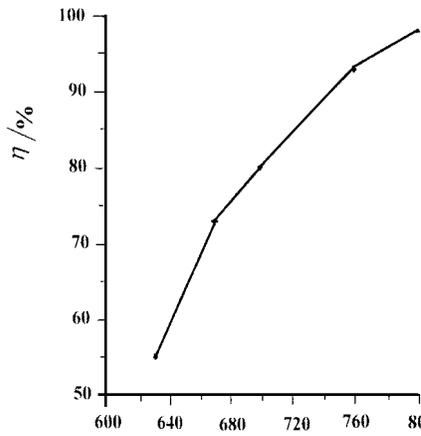


图 5 除尘效率与温度的关系

学性能有所变化, 导致其发射电子的能力下降。

3.4.2 随着时间的推移, 发射极的物理、化学性能趋于稳定, 因此其发射电子的能力也基本保持不变。

从图 4 还可以发现, 发射极性能基本稳定以后, 其发射的电流密度仍然较电晕式除尘器高一个数量

3.4 电流密度与时间的关系

图 4 反映了在高温高压环境下, 阴极材料电发射性能随时间的变化情况。由此可见, 使用初期阴极板的发射电流密度随时间衰减很快, 但经过一段时间以后下降速率逐渐减少, 直至趋于稳定。这主要是由于以下二方面的原因:

3.4.1 在高温高压气流中, 材料会产生一定程度的老化, 同时阴极材料与气流中的某些成分在高温高压条件下难免会产生少量的化学反应, 从而使其物理、化

级以上, 这在一定程度上说明无电晕式静电除尘器在高温高压环境下仍具有较好的荷电性能。

4 除尘实验结果

电除尘器的除尘能力与荷电区的荷电电流和收尘区的收尘电压密切相关, 而荷电电流取决于温度、压力和材料的发射性能。图 5 给出了在 0.6 MPa 压力下, 当收尘电压为 10 kV 时, 无电晕式静电除尘器对南京下关电厂飞灰的除尘效率与温度的关系:

从图 5 可以发现, 温度与除尘效率呈正相关关系, 当温度超过 750 °C 时, 除尘效率达 95% 以上。

5 结论

(1) 温度、压力、电压对阴极发射电流密度有着不同程度的影响。温度和电压升高, 都会使发射电流密度增加; 而压力增加, 发射电流密度则降低。

(2) 即使在高压 (6 个大气压)、低电压 (3 000 V) 下, 只要其温度超过它的临界发射温度, 由阴极材料热发射所获得的电流密度, 比通过电晕方式所得到的电流密度至少要高一个数量级。

(3) 所开发的阴极材料具有较好的稳定性, 可在高温高压下长期使用。

(4) 无电晕式静电除尘器对于高温高压烟气具有良好的除尘效果。

参考文献

- [1] Wei Qidong. The study of noncorona high temperature electrostatic precipitation. 27th Symposium of Engineering Aspects of Magneto hydrodynamics Reno, Nevada. Session 3, 3.3-1, 1989, 6: 27 ~ 29.
- [2] 王成汉. 电收尘的应用研究. 环境工程学会论文集, 1981: 38 ~ 45.
- [3] 嵇敬文. 除尘器. 建筑工业出版社, 1981.

(复 编)

国产引进型 600 MW 锅炉过热器顶棚包墙系统的改进 = **The Improvement of a Boiler Superheater-roof Enclosure-wall System for an Imported Technology-based Domestic-made 600 MW Boiler** [刊, 汉] / Yu Hong, Qu Guobin, Yuan Meiyuan (Harbin Boiler Co. Ltd.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 142 ~ 144

A comparison was conducted of several versions of superheater-roof enclosure-wall system for a 600 MW boiler. On this basis proposed are some measures to decrease the steel consumption and flow resistance of the system as well as to ensure its operation reliability. **Key words:** boiler, roof enclosure-wall, superheater, flow resistance, improvement

无电晕式高温高压电除尘器阴极电发射特性试验研究 = **Experimental Study of the Cathode Electron-emission Characteristics of an Electron-emission Type High-temperature and High-pressure Electrical Precipitator** [刊, 汉] / Gu Zhongzhu, Wei Qidong, Yang Yaping, et al (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 145 ~ 147

An experimental study was conducted under the condition of different temperatures, pressures and voltages with respect to a cathode material already developed. The results of study show that the temperature, pressure and voltage can exercise an influence on emission current to various degrees. Under a high temperature greater than 800 °C the current density resulting from the thermal emission of the cathode material is at least one order of magnitude higher than that obtained through a corona mode. The emission electrode features a fairly good stability and is fit for long-term use under a high temperature and pressure. The corona-absence type of electrical precipitator boasts a high dust-removal effectiveness under a high-temperature and high-pressure environment. **Key words:** corona, high temperature and high pressure, cathode, electrical precipitator, emission current

石灰石脱硫动力学模型的优选 = **The Optimal Selection of a Limestone Desulfurization Dynamics Model** [刊, 汉] / Zhai Zhonghe, Li Le (Harbin University of Science & Technology), Jin Tielin (Harbin No.703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 148 ~ 150

The simulation of a limestone desulfurization system is conducted along with a desulfurization experiment of limestone heat-decomposition products under various operating conditions. As a result, set up and selected is an optimum desulfurization dynamics model. Due to a complicated process of the desulfurization reaction there exist a relatively great variety of such dynamics models which are difficult to be differentiated. In the present paper a sequential-order experimental design method has been introduced to acquire a maximum quantity of experimental information and arrange on this basis the experimental points. By performing a screening-selection according to a standard of maximum posterior probability an optimum dynamics model was acquired. Such a model can provide an important scientific basis for the study of the limestone desulfurization mechanism and the desulfurization techniques based on a calcium-injection in a boiler. **Key words:** limestone desulfurization, sequential-order experimental design, dynamics model, posterior probability

正弯叶片降低叶栅内部损失的数值模拟 = **Numerical Simulation of the Decrease of Internal Losses in a Cascade with Positively-Curved Blades** [刊, 汉] / Wang Songtao, Wang Meng, Feng Guotai, Wang Zhongqi (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 151— 152

The calculation results of a straight and a positively-curved blade flow field show that the positively-curved blades can create in the flow passage, especially at the suction side surface, a “C” shaped static-pressure distribution. The latter effectively suppresses radial secondary flows. Moreover, the abatement of a transverse pressure gradi-