

## 静电技术应用专题系列

### 第六讲 脉冲电除尘技术及应用

吴 彦

(东北师范大学静电研究所)

本文研究了脉冲电晕放电特性, 得出了脉冲电晕电流密度在极板上的分布趋于均匀和脉冲电压可使粒子具有较大荷电量的结果。同时还研究了脉冲电除尘技术, 并给出了该技术的应用实例。

1905年, 美国的 Cottrell 首次将电除尘器应用于工业并获得成功。随后, 电除尘器被广泛应用于捕集各种工业设备中产生的灰尘、烟雾等粒子状污染物质, 在创造清净的空气环境(如无尘室、医院等)中, 也起着重要的作用。电除尘器具有除尘效率高、使用广泛、节省能量、维修简单以及运行费用低等优点。但到目前为止, 对于电除尘器仍有许多需要研究解决的问题, 反电晕就是其中之一。S. Masuda 等人提出采用脉冲供电方式可有效地解决反电晕问题<sup>[1]</sup>。我们在原高压脉动直流电源<sup>[2]</sup>研究工作的基础上, 研制出造价低、峰值电压高(可达180kV)、适合于工业应用的脉冲电源, 并利用该电源对脉冲电晕放电特性及脉冲电除尘技术进行了研究。同时, 将该技术应用于水泥工厂及沸腾炉等的除尘上, 已取得良好的效果。

#### 一、反电晕现象<sup>[3]</sup>

当电除尘器所收集粉尘的比电阻  $\rho_d$  较高时, 由于集尘极上的粉尘层中有电流通过, 从而使粉尘层内产生过大的电压降, 使粉尘层中绝缘较弱部分的绝缘被击穿, 进而使气体空间发生放电, 这个现象叫做反电晕现象。一般反电晕现象大约在比电阻  $\rho_d$  超过  $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$  时开始发生。随着  $\rho_d$  值的不同, 反电晕现象的形态也不同。当  $\rho_d$  值较低, 并在  $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$  附近时, 粉尘层绝缘的击穿直接引起电极间

的火花放电, 其结果导致火花频发现象的发生。因为  $\rho_d$  是在较低的范围, 所以当粉尘层绝缘击穿时, 电极间的电场强度  $E$  很高, 使绝缘击穿点的放电向放电电极伸展, 从而引起火花放电。火花频发现象出现时, 若不降低所加的电压, 便不能使除尘器稳定运行, 但电压的降低又会造成除尘性能下降。当粉尘比电阻  $\rho_d$  超过  $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  (特别是在达到  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  以上) 时, 很小的电晕电流, 就可引起粉尘层绝缘的击穿, 即在较低电压下就开始发生反电晕现象。此时即使提高所加的电压, 也不能使除尘性能得到改善, 因为所加电压的大部分都降在粉尘上, 引起粉尘层内多点发生绝缘击穿, 从而使粉尘层整个表面发生辉光的反电晕放电, 并出现电流的异常增大现象。由于反电晕放电放出大量的正离子, 使粒子的负电荷被中和, 或使粒子正极性荷电, 从而使除尘性能显著下降, 所以电除尘器在收集高比电阻粉尘时存在的主要问题是消除反电晕现象<sup>[4]</sup>。

一般是将粉尘层的绝缘击穿条件作为反电晕现象的始发条件, 在通常情况下, 反电晕的始发条件可由下式给出:

$$i_d \times \rho_d \geq E_{d_0} \quad (1)$$

其中  $i_d$  为粉尘层内的电流密度,  $E_{d_0}$  为粉尘层绝缘击穿的电场强度。

粉尘层的绝缘击穿电场强度  $E_{d_0}$  一般是不能通过外部因素来改变的, 所以由(1)式可知, 可以通过降低粉尘比电阻  $\rho_d$  或减小电流密度

$i_d$ 的方法来防止反电晕现象的发生。为了降低比电阻  $\rho_d$ ，可采用高温除尘、对粉尘调质、水冷集尘极等方法。而为了减小粉尘层中的电流密度  $i_d$ ，则需要减小电晕电流密度。因此，会带来下列问题：

(1) 为减小电晕电流，需要降低集尘空间的电场强度，从而会使除尘效果下降；

(2) 电晕电流的减小，会使粉尘粒子的荷电速度下降，使粉尘的荷电量降低；

(3) 电晕电流会变得不规则，并使电流密度的分布不均匀；

(4) 离子电流的减小，会造成尘粒在集尘极上的附着力下降，从而使再飞散现象变得严重起来。

为了通过减小电流密度来防止反电晕现象发生，同时又要避免上述问题出现，较为有效的方法是采用脉冲供电。脉冲电源具有很高的峰值电压和峰值电流，因而除尘效果可以得到保证，但其平均电流密度却很小。在短时间内施加很高的脉冲电压，可使放电电极上的所有部分都能产生均匀的放电，结果使离子电流在放电电极上的分布变得非常均匀。另外，脉冲放电可在短时间内产生大量离子，这些高浓度离子在库仑力作用下可在荷电空间均匀地分布，从而使离子电流密度在极板上的分布变得均匀，这样可以减少粉尘层中绝缘较弱部分出现击穿的几率，在一定程度上防止了反电晕现象的发生。如果所加脉冲电压的宽度较窄，即使发生粉尘层绝缘被击穿，但在脉冲电压停止期间，反电晕放电不能继续进行，所以不能向放电电极伸展，从而导致整个空间发生火花放电。

## 二、脉冲电晕放电特性

用我们研制的脉冲高压电源对脉冲电晕放电特性和粒子的荷电特性进行了研究。实验所用装置为线-板电极系统，电晕放电导线为直径0.035cm的钢线，平板电极为30×40cm的铜板，线与板之间的距离为10cm。实验所用脉冲电源的频率和脉冲宽度分别为200Hz和1ms。

图1给出了峰值电压与平均电晕电流的关系。为了进行比较，图1还给出了直流电压下的电压和电流的关系。从图1可以明显看出，在相同的峰值电压下，脉冲电晕放电时的电流要小得多。另外还可以看出，直流电晕放电和脉冲电晕放电的极性效果正好相反，即对于直流电晕放电，在相同电压下，负极性放电时的电晕电流大于正极性放电时的电晕电流，而脉冲电晕放电则正好相反。

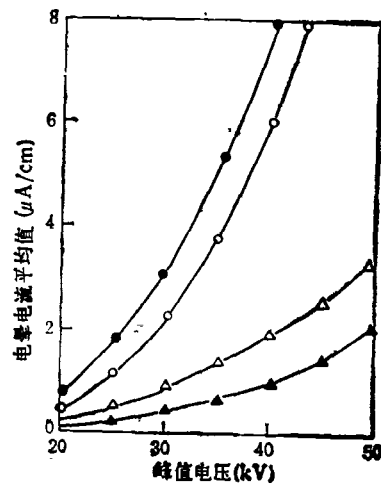


图1 峰值电压与平均电流的关系  
●——负电流； ▲——负脉冲；  
○——正电流； △——正脉冲

在上述实验装置的平板电极上，装有11个1×10cm的电流测量探头。我们对脉冲电压下的电晕电流密度在极板上的分布进行了研究，得出了电晕电流密度在极板上的分布趋于均匀的实验结果<sup>[5]</sup>。

利用钢球落下法对脉冲电压对粒子的荷电进行了测量，并和直流电压情况进行了比较。实验结果表明，粒子的带电量与所加电压的峰值成比例，即对于相同的峰值电压，粒子的带电量相同。另外，对于相同的电晕功率，脉冲电压下的粒子带电量远大于直流电压下的粒子带电量。

从以上实验结果可得出如下结论：

(1) 在相同峰值电压下，脉冲电压具有较小的平均电流，且电流随电压的变化梯度较小。另外，当所加电压相同时，正脉冲电压下的电

流较大,其极性效果与直流电压的情况正好相反。

(2) 脉冲电压下的电流密度在极板上的分布均匀。

(3) 粒子的荷电量与所加电压的峰值成比例。

(4) 在相同的电晕功率的条件下,脉冲电压可以使粒子获得较大的荷电量。

### 三、脉冲电除尘技术及其应用

电除尘器采用脉冲供电方式与一般采用的直流供电方式相比,具有以下优点:

(1) 可以施加较高的峰值电压,即脉冲电压的火花放电电压比直流电压的火花放电电压高得多,结果使电晕电流及主电场的峰值都增大;

(2) 可有效地控制平均电晕放电电流;

(3) 电晕电流密度在极板上的分布均匀,因而可以减小粉尘层局部击穿而引起反电晕现象出现的几率;

(4) 可提高粒子的荷电量,进而提高收尘效率。

由于脉冲电除尘技术具有上述优点,特别是对于收集具有高比电阻的粉尘,更表现出优越性。我们已将该技术应用于水泥磨尾气净化及沸腾炉消烟除尘,并收到了良好的效果。现简要介绍如下。

水泥磨是水泥生产工艺流程中的一个重要部分,块状熟料在磨中被磨制成为成品水泥。在水泥磨的出口处需将磨中气体排出,与此同时也将大量水泥排放到大气中,不仅严重污染大气环境,也造成较大的浪费。我们在该处利用

脉冲电除尘技术,设计安装了立式脉冲电除尘器。经过两年多的实践,证明已完全达到预期的效果,使出口粉尘排放浓度达到  $45\text{mg}/\text{Nm}^3$ ,除尘效率为 99.9%。一个年产  $2 \times 10^4\text{t}$  的水泥磨,每年就可回收水泥近 300t,收到显著的经济效益和社会效益。

沸腾炉是燃烧低发热量高灰分劣质煤的一种锅炉,具有燃烧效率高、能充分利用劣质煤资源等优点。但是,由于沸腾炉所排出的粉尘浓度大,颗粒细,其除尘问题没有很好解决,所以沸腾炉的使用受到一定程度的限制。由于沸腾炉排出的粉尘粒径小,利用机械除尘方式难以达到要求。又因为其粉尘的比电阻较高,采用常规的电除尘器会出现反电晕现象,从而使除尘效果严重下降。为此,我们采用了脉冲电除尘技术。在常规卧式电除尘器的基础上,改变了其内部结构,并采用脉冲供电方式,收到了良好的效果,使沸腾炉的粉尘排放浓度低于  $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ ,林格曼黑度零级,低于国家一级排放标准。

利用我们研制的脉冲高压电源,使脉冲电除尘技术在现场应用中得以实现。实际运行结果表明,脉冲电除尘技术具有耗能低、除尘效率高、可防止反电晕现象等优点。该技术不仅适用于收集高比电阻粉尘,也可用于其它任何除尘现场,因此该技术很有发展前途。

- [1] S. Masuda et al., *Staub-Reinheit, Luft*, **36** (1976), 19.
- [2] 吴彦等, 静电气学会讲演论文集'86, 日本静电学会, (1986), 5.
- [3] 杨丽佳, *物理*, **18-12**(1989).
- [4] H. J. White, *Industrial Electrostatic Precipitation*, Addison-Wesley, (1963).
- [5] 吴彦等, 东北师范大学学报(增刊), No. 1 (1988), 6.

## 1990年第1期《物理》内容预告

光折变现象及其应用(凌振芳等); 半磁半导体的磁性质(陈辰嘉等); 激光聚变研究中的一些物理问题(常铁强); 隧道效应的转移哈密顿理论及隧道谱(陈虞峰); 宇宙的起源(Stephen W. Hawking); 有机金属导体的研究(钱人元等); 北京正负电子对撞机与工业技术(章炎); 非晶态合金薄带制取装置(沈楚英等); 产生交变强磁场的新技术(罗阳); 材料无损检测的全息干涉物理

术(汪爱珠); 微机控制的双通道多点计时仪及其在物理实验中的应用(王胜); 具有大区域均匀场强的磁体(李银安); Nb表面的清洁处理(胡兹甫); 理查德·费因曼(H. A. Bethe); 中国科学院磁学开放实验室简介(詹文山等); 评《金属物理学》第二卷《相变》(冯端等著, 科学出版社出版, 1988年)。