

高风速电除尘器机理与结构

王 磊

(国电南京自动化股份有限公司, 南京市浦口高新开发区星火路 8 号, 210000)

摘 要: 从分析电除尘器除尘效率和趋近速度的函数关系式入手, 讨论了影响电除尘器除尘效率的决定性因素, 并从等离子物理学的角度分析了电场中离子和粒子的输运特性, 找出了提高除尘效率的全新方式。设计了一种全新的高风速电除尘器来解决除尘器的结构紧凑性和性能高效性问题, 对其结构进行了介绍, 并对其工作机理进行了分析。

关键词: 电除尘器; 高风速; 除尘效率; 趋近速度; 尘粒;

0 引言

《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)规定, 自 2012 年 1 月 1 日起, 火电厂燃煤锅炉尘粒排放限值执行 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 的排放标准^[1], 作为电力行业除尘重要方式的电除尘器如何满足这一限值要求受到了业内人士的普遍关注。常规的解决方法是增加电场数或加高电场高度以增加有效除尘面积, 或者把电除尘器的末电场设置为移动电极以减少二次扬尘, 但这些方法都大幅增加了除尘器的体积和钢材耗量, 致使改造或投资成本显著增加, 很不经济, 而且这些方法对捕集 PM10 以下微细粉尘的能力仍然低下。理想的方法是在保证电除尘器体积和重量降低或不增加的前提下提高除尘效率, 保证 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 的排放限值, 本文正是从这一角度出发, 从分析电除尘器中离子的输运特性入手, 提出一种紧凑高效的新型电除尘器-高风速电除尘器。

1 电除尘器中的离子和尘粒的输运特性

1.1 除尘效率提高的途径

多依奇公式给出了除尘效率与有效收尘面积、尘粒的趋近速度和烟气流量的函数关系:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{A}{Q}\omega\right) \quad (1)$$

式中: η —除尘效率, %;

ω —尘粒趋近速度, m/s ;

A —收尘面积, m^2 ;

Q —烟气流量, m^3/h ;

从式 (1) 可以看出, 在保持收尘面积和烟气流

量不变的前提下, 要提高收尘效率, 唯一有效的途径是增加尘粒的趋近速度。趋近速度的定义可描述为: 尘粒所受的动力 (电场力) 和阻力 (粘滞阻力) 相平衡时尘粒向收尘极的运动速度, 按此定义不难得出常规板式电除尘器中尘粒的趋近速度的关系式为:

$$\omega = \frac{qE}{3\pi\mu d} \quad (2)$$

式中: q —尘粒荷电量, C ;

E —电场强度, V/d ;

μ —烟气动力粘滞系数, $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$;

d —尘粒直径, mm 。

由式 (2) 可以看出, 尘粒的驱进速度主要由尘粒的荷电量和电场强度决定, 要提高尘粒的趋近速度需从提高场强和尘粒的荷电量两个方面入手。由于电晕电场强度存在临界值, 当二次电压升高到某一值时电除尘器中出现火花放电, 电场被击穿, 因此通过电场强度提高驱进速度的余地有限。据此, 提高尘粒的趋近速度的主要途径是提高尘粒荷电量, 而荷电量又受电场中离子浓度的制约, 因此应研究提高离子浓度的途径。

1.2 提高电场中离子浓度的途径

从等离子体物理的观点看, 电除尘器是等离子体源和反应室的组合体, 其电离放电过程中产生大量的正负离子。描述控制电离放电通道物理过程的电离连续性方程如下:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L(N) - \nabla(NV) \quad (3)$$

平衡时, $\frac{\partial N}{\partial t} = 0$, 则有:

$$q = L(N) + \nabla(NV) \quad (4)$$

式中, q —离子产生率; $L(N)$ —离子损失率;
 $\nabla(NV)$ —离子输运率。

从式(4)可以看出, 宏观上电除尘器的电离处于平衡状态, 电离过程中离子的产生项等于其损失项与输运项之和。离子产生率因受临界击穿电场的制约存在一个极限值。离子的损失率是因电场力的作用, 电子、离子被束缚在电离放电通道中, 部分离子与电子、离子与离子产生复合而覆灭的比率, 事实上, 电除尘器中离子因复合反应, 其离子浓度由 $2.3 \times 10^9/\text{cm}^3$ 降至 $10^6/\text{cm}^3$, 损失率在 3 个数量级。离子的输运率是指离子克服电场力作用, 从电离通道中扩散出去的比率。因此, 只有减小离子损失率、增大离子输运率才能有效提高电场中离子浓度, 进而提高尘粒荷电量和除尘效率。

2 高风速电除尘器研究

2.1 高风速电除尘器结构

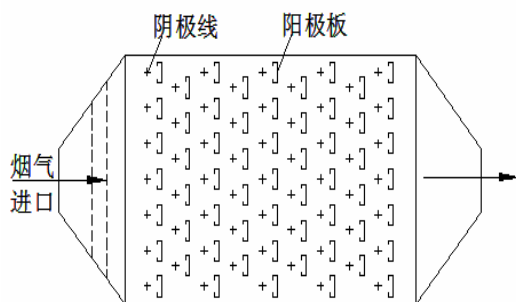


图 1 高风速电除尘器俯视剖面示意图

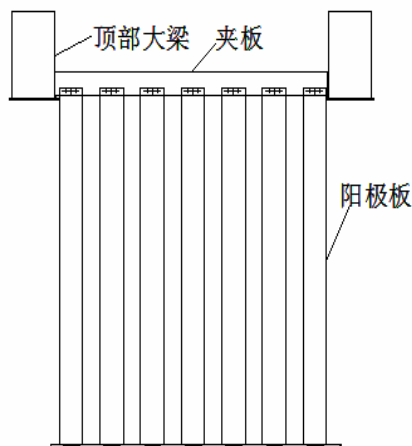


图 2 高风速电除尘器阳极系统安装示意图

根据上述分析, 本文设计一种高风速电除尘器, 通过外加动量的方式增大离子的输运能力, 提高电场中离子浓度, 其结构简图如图 1 所示。与普通电除尘器不同的是, 高风速电除尘器阳极极板采用横向布置, 极板与极板之间留有一定的间距供烟气流过, 板面与烟气流速方向垂直, 极板的安装方式与普通电除尘器类似, 通过顶部夹板将极板加紧后悬挂于顶部大梁上, 详见图 2 所示。每排极板前布置一组阴极线, 极线的吊挂方式同普通电除尘器相同。

2.2 高风速电除尘器机理

在常规电除尘器中, 尘粒的合速度 u_p 是气流速度 v 与趋近速度 ω 的矢量和, 如图 3 所示。在高风速电除尘器中, 尘粒的合速度 u_n 是气流速度 v 与趋近速度 ω 的代数和, 即 $u_n = v + \omega$, 如图 4 所示, 因而大大提高了尘粒向极板的运动速度。

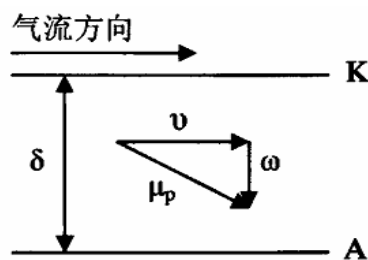


图 3 常规电除尘器中尘粒的运动形式

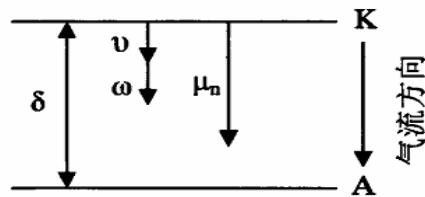


图 4 高风速电除尘器中尘粒的运动形式

尘粒在高风速电除尘器中所受的主动动力为电场力 F_q 与风机的抽吸力 F_c 之和, 而阻力为气流的粘滞阻力 F_z , 各力的表达式为:

$$F_q = qE \quad (5)$$

$$F_c = p\pi d \quad (6)$$

$$F_z = 3\pi\mu d\omega_n \quad (7)$$

当主动动力与阻力平衡时, 则有:

$$F_q + F_c = F_z \quad (8)$$

将(5)(6)(7)式代入式(8)得

$$\omega_n = (qE + p\pi d) / (3\pi\mu d) = \omega + v \quad (9)$$

式中: p —尘粒所受的压差, Pa ;

ωn —尘粒有效趋近速度, m/s。

由式(9)可知,尘粒的有效趋近速度随着烟气流速的提高而增大,因此,在高风速电除尘器中,提高除尘器进口烟气速度可提高除尘效率,同时可使得除尘器小型化。但是,风速的提高有一定的限值,风速过大会造成二次扬尘的增大,反而会造成除尘效率的下降,一般认为,进口烟气速度达2.5-3.5m/s时为佳^[2]。当烟气进入极板与极板间的间隙时,烟气以射流形式流出,风速可达10m/s,尘粒在射流流速和趋近速度的代数和的作用下冲向下一排极板的迎风面,这样高的风速可大幅减少离子复合率,提高离子输送率,增大了电场中离子浓度,有利于除尘效率的提高。射流出流后,烟气速度急剧扩散,平均风速降低,对极板的被风面收尘有利,同时在极板的被风面形成涡流区,涡流区越大,进入涡流区的粉尘量就越多,对提高除尘效率越有利。研究表明,随着除尘器入口流速的增加,除尘器内部的湍动性也会增强,在极板的被风面形成的漩涡就会增大,在一定范围内,除尘器的效率会随之增加⁽³⁾。

3 结论

高风速电除尘器的有效除尘面积较常规电除尘器缩小近两倍,烟气进口流速增大三倍左右,除尘效果优于普通电除尘器。研究表明,高风速电除尘器对微细粉尘去除效果良好,一个电场对PM10以下微细粉尘的去除率可达93.7%,对PM10-PM20的粉尘去除率可达98.8%。高风速电除尘器,解决了电除尘器的小型化和高效性问题,有着很高的经济价值和社会价值,应用前景广阔。

参考文献:

- [1] GB13223-2011,火电厂大气污染物排放标准[S].
- [2] 依成武.新型横向极板电除尘器研究[D]. 镇江:江苏大学,2010: 57-58.
- [3] 胡满银,徐勤云,李立锋,等, 横向极板电除尘器二维流场的数值模拟[J]. 环境科学与技术,2006, 29(增刊):30-31.

作者简介:

王 磊(1975—),男,江苏徐州人,工程师,从事烟气环保领域的研发和设计工作, E-mail : next2004@126.com。