

* 文章编号: 1000- 5811(2004) 02- 0060- 04

用于空气净化的电除尘器理论分析及设计

袁胜利
(陕西师范大学物理与信息技术学院, 西安 710062)

摘 要: 论述了电除尘器用于工业除尘与室内空气净化时的异同性, 对电除尘器的吸尘效率、有效驱进速度等重要参数进行了分析, 并对室内用空气净化器的电场及其参数进行了设计。
关键词: 空气净化; 电除尘器; 吸尘效率; 驱进速度
中图分类号: T M925. 31 **文献标识码:** A

0 引言

20 世纪 50~ 60 年代, 电除尘器的应用已遍及各工业部门。近年来, 随着人们环境意识的增强, 对室内空气质量有了更高的要求, 而用常规的通风、调温技术已不能满足人们的需要, 因此在一些绿色空调、健康空调设备的研制中开展了配合空调机组的电除尘空气净化器的研究^[1]。

1 工业除尘与室内空气净化的异同性

1. 1 相同的吸尘机理

电除尘器亦称静电除尘器, 它是利用高压电场使尘粒荷电, 并且在库仑力的作用下使尘粒从气流中分离出来的一种高效吸尘设备。由其吸尘机理可知, 含尘气流通过电场, 在高压静电场中气体被电离成为正、负离子, 这些离子碰到尘粒, 使之带电, 带正电的尘粒很快回到负极, 而带负电的尘粒趋向正极。尘粒被吸尘极板的电极捕集, 净化后的气体经风管排出。
由此可见, 工业除尘与室内空气净化的电场吸尘机理相同, 包括建立电场、产生电荷、尘粒荷电及尘粒被捕集等过程^[2]。

1. 2 极性不同的电晕放电

工业用电除尘器的电场极性一般都采用负电晕(即负电压为电晕放电极, 正电压接地为收尘极), 这是因为负离子的离子迁移率 k ($\text{m}^2/\text{s}\cdot\text{V}$) 较正离子高, 如干空气的负离子迁移率为 $2. 1(\text{m}^2/\text{s}\cdot\text{V})$, 比正离子 $1. 36(\text{m}^2/\text{s}\cdot\text{V})$ 约高 35%。电除尘器的伏安特性曲线(与电晕极性的关系) 表明^[1], 在相同的电压下负电晕的电流大, 比正电晕的起晕电压低, 但击穿电压高, 有利于电除尘器的工作, 提高其吸尘效率, 但净化后的气体中含有较多的臭氧 (O_3) 和氮氧化合物 (NO_x), 当其浓度超过一定界限时, 对人体的健康不利^[4], 因此, 室内空气净化化的电除尘器宜采用正电晕放电^[3~ 5], 即放电电极为高压正极, 而负电压接地为收尘极。

1. 3 不同的电场参数

由于工业环境与室内环境下需要净化的含尘气体中尘粒的粒径有很大的不同, 后者的尘粒粒径远小于前者, 而且前者比后者的含尘气体量大、含尘浓度高, 因而其各自的电除尘器的电场参数不同, 前者的电场参数值远大于后者。

1. 4 不同的区域设置要求

根据尘粒的荷电及分离区的空间设置不同电除尘器分为单区电除尘器和双区电除尘器。单区电除尘器是指尘粒的荷电及尘、气分离均在同一区域内进行, 而双区电除尘器则是尘粒首先进入荷电区荷电后再

* 收稿日期: 2003- 12- 11
作者简介: 袁胜利(1949-) , 男, 陕西省宝鸡市人, 副教授, 研究方向: 实验物理及空气净化器设计
基金项目: 陕西师范大学重点科研基金资助项目(SD2003003)
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

进入分离区进行尘、气分离。双区电除尘器装有横向电极的导向槽形板, 以加强尘、气分离区的捕尘作用, 其分离区的极板采用的是气流的流动方向与受电场作用的尘粒的驱进方向相互平行的方式。单区电除尘器是工业通风排气除尘最常见的一种设备, 而双区电除尘器则一般用于室内送风空气的净化^[2]。

1.5 不同的技术目标

作为工业除尘设备的电除尘器, 其最主要的技术性能要求是使吸尘效率达到国家规定的标准, 以吸尘器能够长期高效安全地运行为目标^[7]。而对用于室内空气净化化的电除尘器则要求在保证技术经济协调并且与空调系统恰当匹配的条件下, 使得吸尘效率达到与之相联系的空气调节装置的要求, 满足室内居住、工作的人员对室内空气品质的需要, 并能以安全可靠地运行为目标。

2 电除尘器基本理论及公式分析

为了便于对电除尘器的基本理论进行分析, 首先介绍描述电除尘过程的物理参数——驱进速度及吸尘效率。

2.1 驱进速度

在电除尘器工作中, 当含尘气流通过电场时, 尘粒因荷电而被吸向集尘电极, 尘粒相对于气流趋向集尘电极的速度称为驱进速度 $\omega_e(d_p)$ 。尘粒的驱进速度 $\omega_e(d_p)$ 受其粒径 d 和集尘极附近的电场强度 E 的影响, 其关系如图 1 所示。与粒径 d 大时, 荷电较大, 静电吸引力较强, 驱进速度 $\omega_e(d_p)$ 就大; 当电场强度 E 大, 也就是库仑力大时, 驱进速度 $\omega_e(d_p)$ 就大。在工业实际中, 一般均用经验的有效驱进速度 w_{eff} 代替理论驱进速度 $\omega_e(d_p)$ 。

2.2 吸尘效率

当一定浓度的含尘气流通过电场时, 一部分尘粒因荷电而被集尘极吸附, 因而流出电场气流的尘粒浓度降低, 这时气流尘粒浓度的变化量 $\Delta C (C_{enter} - C_{leave})$ 与气流进入电场时的尘粒浓度 C_{enter} 之比定义为电场的吸尘效率 η , 用它来描述电除尘器的技术性能, 即定义式为

$$\eta = \frac{\Delta C}{C_{enter}} \quad (1)$$

2.3 捕集效率方程式的分析

捕集效率方程式是在一系列假定前提下推导出的, 其中吸尘效率的计算到目前还一直沿用多依奇-安德鲁森(Deutsch-Anderson) 公式。工业电除尘器中的气流一般为紊流状态, 用多依奇-安德鲁森公式计算得到的分级效率为:

$$\eta(d_p) = 1 - \exp \left| - \frac{A \omega_e(d_p)}{Q} \right| \quad (2)$$

其中: Q 为除尘器处理的风量(m^3/s), A 为总集尘面积(m^2), $\omega_e(d_p)$ 为不同粒径尘粒的驱进速度(m/s)。

可采用多依奇-安德鲁森公式计算电除尘器的总效率:

$$\eta = 1 - \int_0^\infty \exp \left| - \frac{A}{Q} \omega_e(d_p) f(d_p) d(d_p) \right| \quad (3)$$

式(3)中 $f(d_p)$ 为除尘器进口处粉尘的粒径分布函数。

在工业实际中, 一般均用经验的有效驱进速度 ω_{eff} 代替理论驱进速度 $\omega_e(d_p)$, 所以有

$$\eta = 1 - \exp \left| - \frac{A}{Q} \omega_{eff} \right| \quad (4)$$

式(4)为电除尘器的捕集效率方程式。

可将公式(4)画得曲线如图 2 所示。

由图 2 可见, 当 $A \rightarrow 0$ (或 $\omega_{eff} \rightarrow 0$, $Q \rightarrow \infty$) 时, 即集尘板面积为零(或驱进速度 $\omega_{eff} = 0$, 处理风量 Q 无限大)时, 集尘效率为零。当 $A \rightarrow \infty$ (或 $\omega_{eff} \rightarrow \infty$, $Q \rightarrow 0$) 时, 即集尘板面积无限大(或驱进速度无限大, 处理风量 Q 为零)时, 集尘效率为 100%。

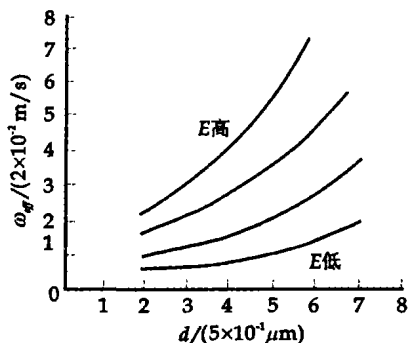
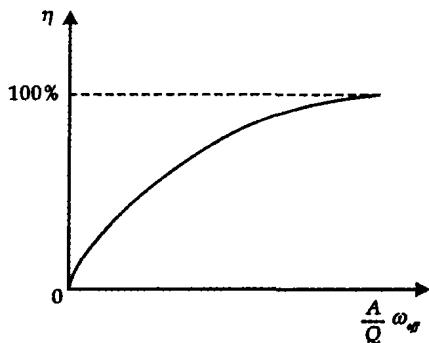
图 1 驱进速度 ω_{eff} 与粒径 d 、场强 E 的关系

图 2 电吸尘器的捕集效率曲线

公式(4)概括地描述了集尘效率与收尘极面积、处理风量 and 驱进速度之间的关系,指出了提高集尘效率的途径,为电吸尘器的设计与评价其技术性能提供了理论依据。

2.4 通过率

在评价电吸尘器的技术性能时,有时要用通过率 P 来描述电吸尘器的技术性能, P 为通过电场后的气流含尘浓度 C_{leave} 与电场入口处的气流含尘浓度 C_{enter} 之比,即 $P = C_{leave}/C_{enter}$

$$P = \frac{C_{enter} - \Delta C}{C_{enter}} = 1 - \eta$$

$$\eta = 1 - P \quad (5)$$

由式(5)可知,通过率低的电吸尘器的技术性能好,即集尘效率高。

若含尘气流多次通过同一电场,则有

$$P_{总} = P_1 P_2 \dots P_n = (1 - \eta)^n \quad (6)$$

则总集尘效率

$$\eta_{总} = 1 - P_{总} = 1 - (1 - \eta)^n \quad (7)$$

在工业除尘设备中含尘气流只能通过吸尘电场一次,吸尘效率要求很高,因而电场设计得很庞大。而在室内空气净化器中由于体积的限制,其比集尘面积不可能很大,因而含尘气流一次通过电场的吸尘效率不可能很高。但含尘气流在一段时间内可反复多次地通过电场,因而在一段时间内的吸尘效率仍可达 95% ~ 98% 以上,甚至更高。

3 用于室内空气净化化的电吸尘器主要参数的设计

根据捕集效率方程式可对电吸尘器的主要参数进行设计,其设计要点如下:

(1) 首先根据使用场合的地面面积与空间容积决定处理风量(气流的流量) $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 。 Q 的决定还需要考虑噪声电平。

(2) 根据所需器件体积的大小决定出风口面积 $S(\text{m}^2)$,从而决定气流速度 $u = Q/s(\text{m/s})$,一般 u 约为 1~2 m/s。

(3) 选择一定的电场强度 E ,从而决定相应的驱进速度 ω_{eff} ,一般 $E = 3 \sim 6 \text{ kV/cm}$, $\omega_{eff} = 0.02 \sim 0.20 \text{ m/s}$, E 高,则 ω_{eff} 高。根据公式 $E = V/b$,由 E 和电源电压 V 决定极板间的间距 b ,或由 E 、 b 去选 V 。对于管式电场用公式 $E = V/\ln(D/d)$ 进行计算。

(4) 由式(5)选定 η 值,然后决定集尘极面积 $A(\text{m}^2)$ 。

(5) 由荷电时间常数 t_0 、达到饱和电量的时间 $10t_0$ 及气流速度 u ,计算最小板长 L :

$$L \geq 10t_0 u \quad (8)$$

且必须满足

$$\frac{L}{u} > \frac{b}{k\omega_{eff}} \quad (9)$$

取 $k = 5 \sim 10$ 。

(6) 上述设计的各种参数常需反复比较, 并且在实际的制作与运行中还要根据由实际工况测得的参数值进行修正和调整。

4 结束语

用于室内空气净化与工业除尘的电除尘器有相同的电除尘机理, 即由强电场对进入的含尘气流进行高压电离, 产生电子的雪崩效应, 并使空气中的部分成分离子化; 电子、正负离子向电极运动并与气体中的尘粒碰撞而使尘粒荷电, 或尘粒扩散与电子碰撞而荷电, 荷电尘粒被电极吸引、吸附, 从而使含尘浓度降低。

捕集效率方程式(Deutsch-Aaderson 公式) 概括地描述了集尘效率与收尘面积、处理风量和驱进速度之间的关系, 指出了提高集尘效率的途径, 为电除尘器设计与分析评价其技术性能提供了理论依据。

应用捕集效率方程式(Deutsch-Aaderson 公式) 可以进行有关吸尘电场的的设计与评价。设计要点: 当气流流量 Q 、速度 u 决定后, 选择适当的电场强度 E 及尽可能大的比集尘面积 A , 保证气流通过电场的时间远大于荷电时间常数, 则可获得较高的吸尘效率。因含尘气流反复多次通过电场, 吸尘电场的一次效率不必过高而一段时间内的总效率仍可很高。

参 考 文 献

[1] 龚毅, 吴杲, 付光轩. 用于空气净化的电除尘理论分析[J]. 郑州纺织工学院学报, 1999, 10(40): 12~ 16.
[2] Park S. J. , Kim S. S. . Electrohydrodynamic flow and particle transport mechanism in electrostatic precipitators with cavity walls[J]. Aerosol Sci. Technol, 2000, 33(3): 205~ 221.
[3] 李杰, 王海军, 冯红, 等. 无臭氧负离子空气净化器最佳设计问题[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1996, (4): 43~ 46.
[4] 李杰, 王宁会, 张彦彬. 新型封闭室内空气净化技术研究[J]. 大连理工学院学报, 1998, 38(3): 273~ 276.
[5] 亢燕铭, 荣美丽, 沈恒根, 等. 空气净化过程中的电晕放电与离子风[J]. 自然杂志 2002, 24(3): 125~ 128.
[6] 张介轩. 电除尘器的节电的探讨[J]. 城市管理与科技, 2002, 4(1): 23~ 25.

ANALYSIS AND DESIGN OF ELECTROSTATIC
PRECIPITATING THEORY IN AIR CLEANING

YUAN Sheng-li

(College of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: In this paper, the similarities and differences of electrostatic precipitating applying in between industry and air cleaning air discussed, the precipitating efficiency and the migratory velocity of electrostatic precipitation are analyzed theoretically, the electrostatic field of air cleaner is designed.

Key words: air cleaning; electrostatic precipitator; precipitating efficiency; migratory velocity