

静电旋风分离器的流场分析

张吉光¹, 沈恒根¹, 李 华²

(1. 东华大学 环境学院, 上海 200051; 2. 青岛建筑工程学院, 山东 青岛 266033)

摘要: 分别测试了 CLT 型静电旋风分离器(C—除尘器; L—离心; T—筒体)内安装电晕极和不安装电晕极两种情况下的三维速度分布, 并与 XCY 型静电旋风分离器(X—旋风; C—长锥体; Y—烟气)内安装电晕极和不安装电晕极两种情况下的三维速度分布的测试结果进行对比, 分析了电晕极的安装对静电旋风分离器内三维速度分布的影响。指出: 如果合理地选用旋风分离器, 并在特定的位置上安装电晕极, 能使旋风分离器内的速度分布更有利于提高离心力的分离作用, 同时降低静电旋风分离器内的阻力; 并对静电旋风分离器的合理结构进行了探讨。

关键词: 静电旋风分离器; 分离效率; 压力损失; 流场

中图分类号: TU834.6

文献标识码: A

1 CLT 型静电旋风分离器内的三维速度分布

静电旋风分离器是利用离心力和电场力的联合作用来分离粉尘粒子的设备, 由于其分离机理及内部流场复杂, 目前还处在盲目应用阶段, 需要进一步的研究。为了研究安装电晕极前后旋风分离器内三维速度分布的变化规律, 分别对 CLT(C—除尘器, L—离心, T—筒体, 见国际 T505-1)型旋风分离器内不安装电晕极(称普通旋风分离器)和 CLT 型旋风分离器内安装电晕极(称静电旋风分离器)两种情况在相同的入口流速(26.3 m/s)下进行了流场测试, 测试仪器采用五孔探针。CLT 型静电旋风分离器的筒体直径为 400 mm, 入口尺寸为 270 mm×110 mm, 排灰口直径为 116 mm, 排气芯管直径 200 mm, 插入深度 420 mm。电晕极用 15 根 4 mm 的钢筋制成, 在钢筋上焊接 2~3 mm 长的细钢丝形成芒刺。CLT 型旋风分离器和静电旋风分离器的切向速度分布与轴向速度分布见图 1, 径向速度分布及静压分布见图 2。

由图 1 可知, 从全部测定空间看, 由于电晕极的

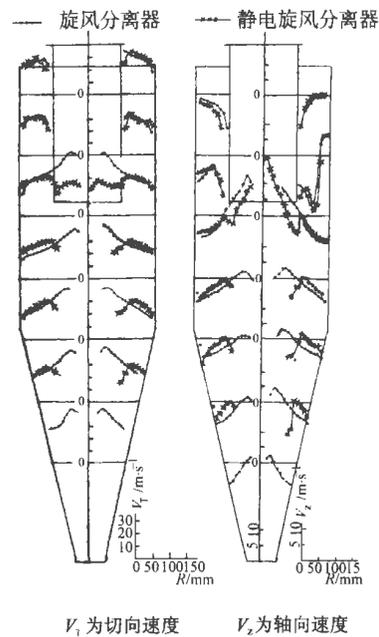


图 1 CLT 型旋风分离器和 CLT 型静电旋风分离器各断面的切向速度与轴向速度分布

影响, 切向速度平均值下降, 内外涡旋交界面直径由常规旋风分离器的 0.5 de 外移为 1.2 de (de 为排气芯管直径)。与常规旋风分离器相比, 在筒体和锥体的上半部, 静电旋风分离器内下行流区的切向速度有所增大, 上行流区的切向速度明显减小, 在整个流动区

域, 平均切向速度明显降低。

静电旋风分离器中轴向速度分布仍然是外部为下行流区和内部为上行流区, 但与常规旋风分离器相比, 上、下行流交界面内移, 下行流区变宽。在下行流区, 轴向速度的绝对值减小, 而且, 轴向速度梯度也减小。在电晕极的附近(例如筒体部分半径为 100 mm 处), 轴向速度分布与常规旋风分离器相比有较大波动, 电晕极对流场造成较大干扰。

静电旋风分离器中径向速度分布比较紊乱, 尤其在电晕极附近, 径向速度分布与常规旋风分离器相比有较大波动。径向速度方向基本都是向心的, 其值的大小与常规旋风分离器相比没有明显的规

律。

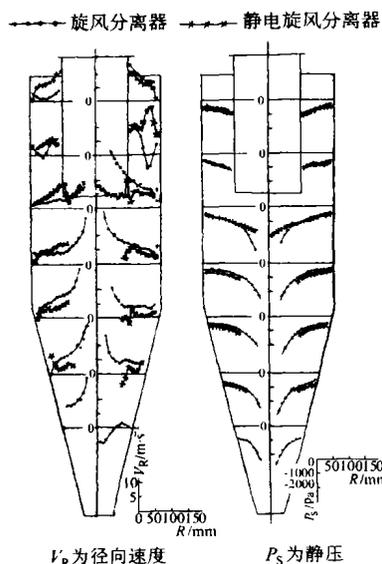


图 2 CLT 型旋风分离器和 CLT 型静电旋风分离器各断面的径向速度与静压分布

显著(绝对值减小), 大大高于常规旋风分离器。

2 XCY 型静电旋风分离器的三维速度分布

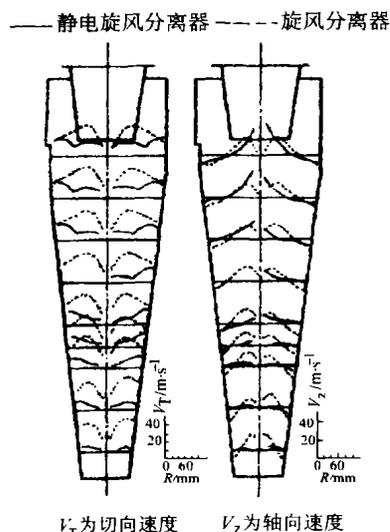


图 3 XCY 型旋风分离器安装电晕极前后切向速度与轴向速度对径向距离的分布

静电旋风分离器内的静压和全压的分布从整个区域来看与常规旋风分离器相比规律一致, 但下行流区的静压值比常规旋风分离器低(绝对值增大); 在排气芯管底部附近, 上行流区静压值比常规旋风分离器增加

以上介绍了 CLT 型静电旋风分离器的流场测试结果, 电晕极安装在排气芯管上。为了研究电晕极的不同安装位置对流场的影响, 下面介绍对 XCY 型静电旋风分离器的流场测试结果^[1], XCY (X—旋风, C—长锥体, Y—烟气)型静电旋风分离器的结构尺寸为: 筒体直径 350 mm, 筒体长度 322 mm, 排气芯管直径 200 mm, 排气芯管插入深度 242 mm, 锥体长度 962 mm,

排灰口直径 140 mm, 入口尺寸 252 mm×63 mm, 电晕极(即减阻框架)安装在半径 $r=125$ mm 的位置(即电晕极的安装位置距离排气芯管 25 mm, 处在外涡区)。XCY 型旋风分离器安装电晕极前后切向速度与轴向速度分布见图 3, 径向速度与静压分布见图 4 (入口风速为 20 m/s)。

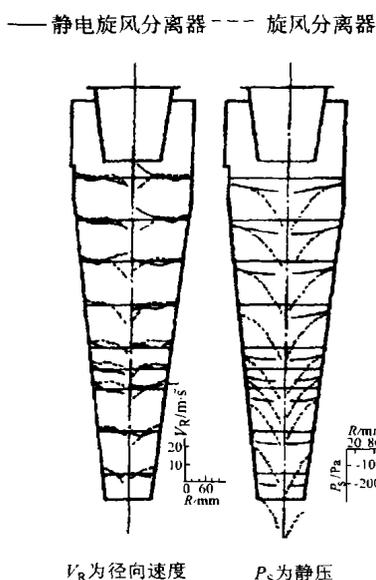


图 4 XCY 型旋风分离器安装电晕极前后径向速度与静压对径向距离的分布

由图 3 可知, 从整个流动区域看, 增设电晕极后切向速度平均值下降, 上行流区的切向速度大幅减小, 内外涡旋交界面外移, 即外涡区范围减小, 内涡旋不再是准强制涡流动。轴向速度在上半空间与原分布明显不同, 其值随观察

点与轴心的距离减小单调上升, 升降流交界面的半径减小, 下降流区域内轴向速度值也较常规旋风分离器有所降低。增设电晕极后径向速度呈明显的非轴对称分布。从全部测定结果看, 其数值大多小于原旋流器时的相应值。安装电晕极后静电旋风分离器内静压和全压沿轴向和径向变化都很小, 同一测定断面上, 径向压力梯度明显减小。

3 电晕极的不同安装位置对静电旋风分离器流场的影响

3.1 电晕极的不同安装位置对切向速度的影响

分析测试结果可知, 电晕极的安装位置不同, 对静电旋风分离器内流场的影响不同。首先, 无论电晕极安装在常规旋风分离器的排气芯管上还是安装在排气芯管与筒体之间的外涡区, 都使得切向速度的分布变得平缓, 峰值降低, 内涡旋不再是强制涡流动, 有些测量断面出现了“双峰”现象, 内外涡旋交界面半径明显外移, 上行流区的切向速度明显减小, 这

有利于静电旋风分离器的减阻, 减阻幅度都达到 40% 以上。但是对所选用的 CLT 型旋风分离器, 电晕极安装在排气芯管上时, 能使下行流区的切向速度不减小并且有所增大, 这有利于提高分离效率, 实测可知, 总效率提高 5% ~ 6% (不加电压)。但当电晕极安装在排气芯管和筒体之间的外涡区时, 下行流区的切向速度有所减小, 即电晕极的存在, 减缓了下行流区的切向流动, 分离效率有所降低^[1]。电晕极安装在旋风分离器的排气芯管上时, 电晕极远离下行流区, 不会降低下行流区的切向速度, 仅从这一角度来看, 电晕极安装在远离下行流区的位置是合理的。

3.2 电晕极的不同安装位置对轴向速度的影响

上述电晕极的两种放置位置, 都使得轴向速度分布发生较大变化, 上、下行流交界面半径减小, 下行流区变宽, 在下行流区, 轴向速度的绝对值减小, 对静电旋风分离器来说, 这使得粒子在分离器内有效分离空间的停留时间增加^[2], 这对利用离心力和电场力分离粒子是有利的。对 XCY 型分离器, 轴向速度的值在上半空间随观察点与轴心的距离减小单调上升, 下降流区域内轴向速度值也较常规旋风分离器有所降低, 而对 CLT 型静电旋风分离器, 在电晕极的附近, 轴向速度分布与常规旋风分离器相比有较大波动, 随观察点与轴心的距离减小, 轴向速度不是单调上升, 而是出现了“峰值”, 这可能与旋风分离器的结构形式、电晕极的结构形式及安装位置不同有关。

3.3 电晕极的不同安装位置对径向速度及静压的影响

所讨论的两种静电旋风分离器, 径向速度分布都比较紊乱, 其值的大小与常规旋风分离器相比没有明显的规律, 但大多数的值有所减小。静压分布在整个区域来看与常规旋风分离器相比规律基本一致, 同一测定断面上, 径向压力梯度明显减小。在上行流区, 静压值比常规旋风分离器增加显著 (绝对值减小), 大大高于常规旋风分离器。但对于 CLT 型静电旋风分离器, 下行流区内的大部分区域静压值比常规旋风分离器低 (绝对值增大); 而对 XCY 型静电旋风分离器, 则无此规律。

4 静电旋风分离器的合理结构探讨

因静电旋风分离器利用离心力和电场力的综合作用来分离粒子, 不能片面追求某一方面的效果。例如, 单纯的旋风分离器可能是高效的 (纯离心力的作用), 但内部安装电晕极构成静电旋风分离器后, 分离性能不一定是最好的, 这还要看这种分离器的结构是否有利于发挥电场力的作用, 同时又不降低离心力的分离效果。这就涉及电晕极与旋风分离器的合理匹配问题, 即选用什么结构的旋风分离器和电晕极构成静电旋风分离器, 电晕极的安装位置也是至关重要的。由流场的测试结果可知, 电晕极安装在远离下行流区的位置对离心力分离是有利的, 但对电场力的作用就不一定有利了, 这需要进行优化才能确定, 本项研究工作正在进行。

5 结论

电晕极使得切向速度的分布变得平缓, 峰值降低, 内涡旋不再是强制涡流动, 有些测量断面出现了“双峰”现象, 内外涡旋交界面半径明显外移, 上行流区的切向速度明显减小, 这有利于静电旋风分离器的减阻。如果在合理的位置上安装电晕极, 能使下行流区的切向速度不减小并且有所增大, 这有利于提高分离效率。

由于电晕极的影响, 上、下行流交界面半径减小, 在下行流区, 轴向速度的绝对值减小, 使得粒子在分离器内有效分离空间的停留时间增加, 对利用离心力和电场力分离粒子是有利的。

为了提高静电旋风分离器的分离效率, 必须考虑离心力和电场力的综合作用效果, 不能片面追求某一方面的效果。电晕极与旋风分离器的结构必须合理匹配, 同时, 电晕极的安装位置也是至关重要的, 需要进行优化才能确定。

参考文献:

- [1] 亢燕铭, 沈恒根. 高效旋风分离器降阻条件下的流场特征[J]. 西安建筑科技大学学报, 1997, 29(1): 18-21.
- [2] 张吉光, 叶龙. 计算粒子在旋风除尘器内平均停留时间的新方法[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1990, 11(3): 22-27.

(辉 编辑)

静电旋风分离器的流场分析= **Flow Field Analysis of an Electrostatic Cyclone Separator** [刊, 汉] / ZHANG Ji-guang, SHEN Heng-gen (East China University, Shanghai, China, Post Code: 200051), LI Hua (Qingdao Architectural Engineering Institute, Qingdao, China, Post Code: 266033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 499 ~ 501

A three-dimensional speed distribution was tested respectively for two versions of CLT type (C - dust remover, L - centrifuge, T - cylinder) of electrostatic cyclone-separator, i. e., with and without a corona electrode being installed. The above-cited distribution was compared with that of two versions of XCY type (X - cyclone, C - long cone, Y - flue gas) of electrostatic cyclone separator, i. e., with and without a corona electrode being installed. After an analysis of the effect of corona electrode installation on the three-dimensional speed distribution the authors made the following observations. With the rational selection of a cyclone separator and the installation of a corona electrode at a specified location the favorable speed distribution in the cyclone separator will be conducive to enhancing the separation function of a centrifugal force and lowering the resistance in the electrostatic cyclone separator. The authors also discussed how to achieve a rational configuration of the electrostatic cyclone separator. **Key words:** electrostatic cyclone separator, separation effect, pressure loss, flow field

燃气机热电冷联供系统技术经济分析= **Technical and Economic Analysis of a Gas Engine-based process heat, electricity and cooling energy Cogeneration System** [刊, 汉] / YANG Zhao, ZHANG Shi-gang, TONG Chun-rong (Thermal Energy Research Institute under the Tianjin University, Tianjin, China, Post Code: 300072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 502 ~ 505

In an effort to seek a rational approach of energy utilization, the authors have made a technical and economic analysis with regard to a gas engine-driven total energy system incorporating the triple supply of process heat, electricity and cooling energy. Its comparison with a motor-driven air-cooled heat pump shows that the recommended total energy system is technically feasible and economically rational. **Key words:** total energy system, technico-economics, heat pump

MSF 多级闪蒸海水淡化系统的建模与仿真= **Modeling and Simulation of a Multi-stage Flash (MSF) Seawater Desalination System** [刊, 汉] / ZHOU Shao-xiang, HU San-gao, SONG Zhi-ping (North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 506 ~ 509

Through the mechanism analysis of a multi-stage flash (MSF) process a comprehensive and dynamic mathematical model was set up for a MSF seawater desalination system. The model is different from those as reported in current literature in that it has taken into account the influence of steam density and flow rate changes of interstage-flash brine-water. The results of simulation calculations truthfully reflect the nonlinearity characteristics of the MSF system dynamic process. **Key words:** dynamic process, modeling, simulation, multi-stage flash, seawater desalination

方形截面弯管二次流数值模拟= **Numerical Simulation of the Secondary Flow in a Curved Duct of Square-shaped Cross-section** [刊, 汉] / FAN Hong-ming, LI Xian-ting, JIANG Yi (Department of Architectural Science, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), HE Zhong-yi (Department of Architectural and Thermal Energy Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 510 ~ 513

With the help of a large eddy simulation (LES) method for turbulent flows a numerical simulation was performed of the secondary flow in ninety degree curved ducts of a square-shaped cross-section with and without flow-guide blades. Meanwhile, presented is a Taylor-Galerkin finite-element discrete scheme. Two pairs of secondary flow were formed after the