

环保与安全

# 涡轮除尘技术

陈海焱

(西南科技大学环境工程学院, 四川 绵阳 621002)

**摘要:**针对高湿高粘附性微细粉尘的收集,设计开发了涡轮除尘器。其原理为:含尘气流逆流流向高速旋转的涡轮,粉尘受到旋转流体和涡轮叶片所形成的离心力场作用,被强制向外运动甩向筒壁而分离出来;清洁的空气则在负压作用下进入涡轮中心排出。在给出涡轮除尘器的切割粒径公式基础上,分析了其性能,讨论了其参数设计,揭示出在涡轮除尘区形成完整稳定的离心力场和可靠的端面密封是涡轮除尘器高效除尘的重要保证。通过对新的涡轮除尘技术进行的理论与实验研究表明,涡轮除尘器能稳定、可靠地满足高湿高粘附性微细粉尘的收集要求。

**关键词:** 涡轮; 除尘; 微细粉尘

中图分类号: X701.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2003)01-0049-03

## Technique of turbine dusting

CHEN Hai-yan

(College of Environment Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621002, China)

**Abstract:** A turbine duster is designed to collect high humid and high conglutinate ultrafine dust on the basis of the following principles: when the dusty counter air stream flows to the high-speed turbine, the dust is forced outward to the tube wall under the centrifugal field produced by the rotational flow and the turbine blades, while the clean air is discharged through the turbine center under the suction force. The properties are analyzed and the parameter design is discussed on the basis of the equation for cut-size of turbine duster. Experiments show that it is an important guarantee to produce complete and steady centrifugal field and reliable end face sealing in turbine dusting area. Both the theoretical and experimental researches prove that this turbine duster can steadily and reliably meet the collection requirements of high humid and high conglutinate ultrafine dust.

**Key words:** turbine; dusting; ultrafine dust

高湿高粘附性微细粉尘的收集是目前工业除尘面临的一个难点,无论是采用袋式收集器还是采用电除尘均存在着运行不稳定问题<sup>[1-2]</sup>。在现代化工生产过程中对高湿高粘附性微细粉尘的收集更是一个常见而急需解决的问题。针对该问题,对全新涡轮除尘技术进行实验研究,并在高湿高粘附性微细粉尘收集的实际工程中加以应用。

## 1 基本原理

图 1 为涡轮除尘器的结构图,图 2 为涡轮除尘的工作原理示意图。含尘气流从切向以 15~20 m/s 的速度进入,气流受结构限流,自上而下作旋转运动;粉尘受气流旋转所形成的离心力作用,部分被甩

向外壁并沿外壁落下,在灰斗收集。旋转下降的气流由于受到锥体收缩的影响,逐渐地开始返回上升,形成一股自下而上的旋转气流。这股旋转气流在负压的作用下,进入涡轮转子,在转子叶片的作用下,粉尘获得很大的离心力,被强制向转子外缘运动,而清洁的气流则在负压作用下进入转子中心,从而达到高效除尘的目的。

## 2 理论分析

### 2.1 涡轮除尘器的性能

该研究是建立在高效率分离出 10 μm 以下的微细粉尘对流场的要求基础上的。对涡轮除尘器而言,流体圆周速度很大程度上取决于涡轮的圆周速

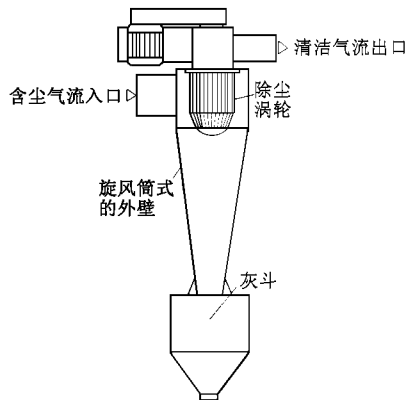


图 1 涡流除尘的结构图

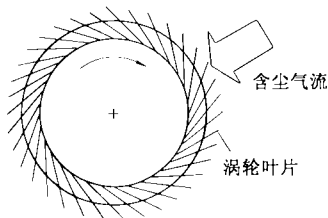


图 2 涡轮除尘工作原理示意图

度,为简化起见特作如下假设:

(1)粉尘浓度小,相互间无干扰,此时为气固两相流,并假定颗粒速度与气体的一致(颗粒粒径愈小,则气体和颗粒速度愈趋近一致);

(2)分级是在分级叶轮外缘进行的,则分级粒径是以转子外缘区颗粒径向加速度为零的颗粒粒径来表示;

(3)工质在分级区是主旋流,以层流形式运动。

根据以往的研究<sup>[3]</sup>,当分级流场中小于 10 μm 的颗粒运动时,受到的径向粘滞力符合斯托克斯曳力定律,由此可推导出以下简化数学模型:

$$d_c = \frac{k}{n} \sqrt{\frac{Q}{\rho_s}} \quad (1)$$

式中  $d_c$  为切割粒径; $k$  为与空气黏度、转子和叶片形状有关的常数; $n$  为分级轮的旋转速度; $Q$  为气流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $\rho_s$  为颗粒密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

由(1)式可知:①切割粒径  $d_c$  与转速成反比,当气流流量  $Q$  一定时,转速越高,  $d_c$  愈小;②切割粒径  $d_c$  与  $Q$  的平方根成正比,当转速一定时,分级粒度  $d_c$  随气体风量的增加而增加;③可通过调节转速或风量来改变涡轮除尘机的切割粒径  $d_c$ 。

上述对分级机性能的研究,是在一定的简化条件下建立的数学模型,用解析解来表征除尘流场的情况。作为分析性的结论是可靠的,但还不能作为

分级机的精确定量分析。而实际上粉体是在分级室内作复杂的三维运动。在转子高速运转下,无叶片部位气流的旋转速度滞后于转子,径向气流有局部涡流。因此,用涡轮转子的旋转速度代替径向方向上颗粒与气流的运动速度,并忽略颗粒间的相互干扰,不能全面客观地反映除尘器内的流动情况。在实际设计涡轮除尘器时,应对三维旋转空间的流场,进行理论分析与实验测试,更合乎实际地认识除尘流场的状态,修正有关参数,改进内部结构。

涡轮除尘机的设计应使气流在其内部尽可能进行整流,因为局部涡流往往影响除尘效率。除尘器内的粉尘应尽可能地在强大的分离场中进行,且分离力不应在除尘器内部的点上或线上起作用,而是希望在一个带域中起作用。因此涡轮除尘器应采用后倾叶片,且涡轮的旋转方向应与旋风筒的气流旋转方向一致。另外后倾叶片会产生有利于除尘的颗粒运动轨迹<sup>[4]</sup>。

粉尘应尽可能地在气流中团聚。粉体愈细,粘附性愈大;湿度愈高的粉尘,其团聚就愈容易。团聚是实现良好除尘的前提条件。强化气流旋转与流场的整流性可增加粉尘接触的机会,强化团聚。因此,借助于旋风的旋转气流和涡轮产生的旋转气流的复合,更易使粉尘团聚和分离出来。

## 2.2 涡轮除尘器设计参数

涡轮除尘器设计的关键是叶轮的设计,在给定流量下,正确设计叶轮外径、叶片个数、厚度、高度、安装角度、端面密封是十分重要的。

(1)由于通常叶片数目有限,这会导致在槽内形成叶轮旋转方向的惯性涡流,它的存在使流场更加趋于不均匀。为了减少这种有害影响,提高除尘效率,降低切割粒径,应增大叶片数目,减少叶片之间的距离。

(2)应在满足强度和焊接工艺要求的前提下,涡流叶片尽可能薄。通常除尘是在叶轮外径附近进行,过厚的叶片,导致进出口易于产生涡流,不利于除尘。

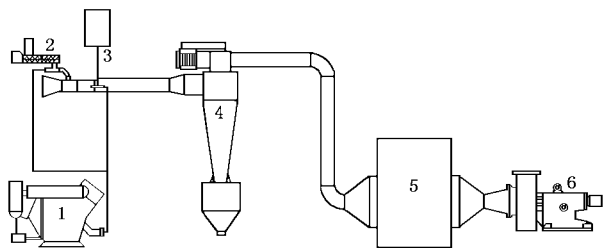
(3)叶片安装角对切割粒径、除尘效率均有严重的影响,后倾叶片的除尘效率远高于径向叶片和前弯叶片,后弯叶片的切割粒径最小(就叶轮尺寸相同、运行参数相同,仅叶片角不同而言)。采用大角度的后倾叶片,除尘的切割粒径减小,除尘效率也随之提高。

(4)除上述几点外,高速旋转的涡轮,与固定不动端壁之间有一定的间隙。由于压差的作用有大量

的粉尘可以通过这个间隙泄漏,因此解决好端面密封问题也是涡轮除尘机设计的关键技术之一。对于大型涡轮除尘机,由于涡轮尺寸大,密封周边长,同时加工精度不可能太高,因此使用气封的型式是不现实的。本研究中,通过分析论证,设计了一种特殊的密封措施,极大地消除了端面间隙内外间的压差,同时采用动力式密封方式,无需采用压缩空气,即可以可靠地防止大颗粒的泄漏。

### 3 实验研究

采用图3所示的实验系统,流化床气流磨加工的超细膨润土粒度分布为 $d_{50} = 1.01 \mu\text{m}$ 和 $d_{90} = 3.7 \mu\text{m}$ (粒度分析采用马尔文MS2000激光粒度测试仪),用均匀加料分散装置2,经螺杆均匀加料压缩空气强力分散后进入系统,形成的含尘气流经气水雾化加湿器3加湿后,切向进入涡轮除尘器4除尘,除尘后的空气再通过电除尘器5和高压引风机6排出。在涡轮除尘器前后设置有压力、湿度、流量和粉尘浓度测试,试验结果见图4。除尘涡轮的转速、引风机及加料螺杆的转速由变频器控制。为增加粉尘黏性,从主进气口可吸入油雾。



1—小型空压机;2—均匀加料分散装置;3—气水雾化加湿器;  
4—涡轮除尘器;5—电除尘器;6—高压引风机

图3 涡轮除尘实验系统

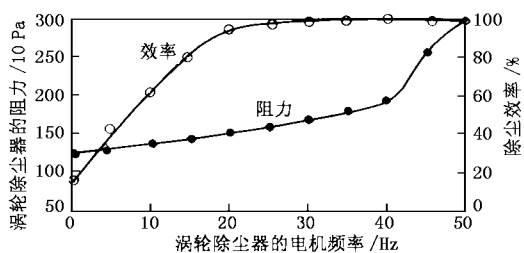


图4 涡轮除尘器电机频率对阻力与除尘效率的影响

实验条件:含尘气流的相对湿度为85%,气流流量 $360 \text{ m}^3/\text{h}$ ,当涡轮除尘器的涡轮转速改变引起系统阻力和流量变化,通过调节引风机变频器频率来保持系统流量的稳定;涡轮电机功率1.1 kW,当涡轮电机频率为50 Hz时,涡轮转速为5 350 r/min;涡轮除尘器进口的含尘质量浓度为 $12 \text{ g}/\text{m}^3$ 。

从测试结果可以看出:涡轮除尘器的阻力随着涡轮转速的增加线性增加,当涡轮电机的频率增大到40 Hz时,阻力达到1 900 Pa,之后阻力急剧增加。涡轮除尘器的效率随着涡轮转速的增加而增加,当涡轮电机的频率增加到30 Hz,涡轮除尘器出口的含尘质量浓度为 $120 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,除尘效率达到99.0%;当涡轮电机的频率增加到40 Hz,涡轮除尘器出口的含尘质量浓度为 $36 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,除尘效率达到99.7%;当涡轮电机的频率增加到50 Hz,涡轮除尘器出口的含尘质量浓度为 $84 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,除尘效率为99.3%,效率略有下降,这可能是由于涡轮转速太快,引起了较强的局部涡流所致。

### 4 结论

(1)涡轮除尘器可以满足高湿高粘附性微细粉尘的收集要求,对含有 $d_{90} < 4 \mu\text{m}$ 微细粉,含尘质量浓度达 $12 \text{ g}/\text{m}^3$ 的气固流,通过涡轮除尘器后,出口的含尘质量浓度可控制为 $36 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,收集效率达99.7%。在运转过程中,收集系统可以保持稳定、可靠地运行。除尘涡轮叶片及筒壁无明显粘附现象。

(2)对涡轮除尘器和叶轮的结构应进行精确的设计,以产生完整稳定的流场,尽量减少局部涡流;将涡轮旋转方向设置为与旋风流方向一致,涡轮除尘器高速叶轮与旋风形成的旋转流场强化了粉体受到的离心惯性力,增加粉尘的团聚几率,也降低了涡轮边缘的气固浓度,使涡轮除尘器能够以更高效率除去空气中的粉尘。

(3)涡轮除尘器的除尘效率达99%时,除尘器的阻力超过1 660 Pa,因此开发低阻高效涡流除尘器对高湿高粘附性微细粉尘的收集具有重大意义。

### 参考文献

- [1] 陈安琪.[J].中国环保产业,2000,16(12):24-28.
- [2] 薛建明,纵宁生.[J].电力环境保护,1998,14(6):20-40.
- [3] 陈海焱,李显寅.[J].矿山机械,1996,24(12):42-44.
- [4] 陆厚根.[J].同济大学学报,1992,20(3):263-268. ■