

# 冶金行业呼吸性粉尘的喷雾净化技术研究

邹声华,李 刚,李孔清

(湖南科技大学能源与安全工程学院,湖南湘潭 411201)

[摘要] 阐述了呼吸性粉尘的特点和危害,介绍了近年来国内外在呼吸性粉尘防治和控制方面的新技术,分析了各种降尘技术的机理并进行了比较。结果表明:在钢铁企业呼吸性粉尘的净化研究中,采用添加湿润剂的荷电水雾降尘技术是一种较好的治理方案。通过理论分析和试验研究,将该项技术应用于某钢铁企业的呼吸性粉尘的净化中,取得了良好的降尘效果。

[关键词] 呼吸性粉尘;湿润剂;超声雾化;磁化水;荷电水雾;降尘效果

[中图分类号] TU834.6<sup>+</sup>27 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)11-0196-04

## 引言

随着工业的发展,工业污染对人类健康和地球生态环境已造成了很大的威胁。开始于19世纪的工业革命,既创造了人类历史上前所未有的物质财富,同时也带来了严重的环境污染。其中,工业粉尘的污染是整个环境污染领域中的一个重要组成部分。冶金行业是我国的基础工业,是能源与资源消耗大户,也是环境污染大户。我国是钢产量位居世界第一的国家,钢工业、冶金行业的发展非常迅猛,但粉尘的发生量及其对空气环境的污染也是绝对不能忽视的。因此,各钢铁企业在粉尘治理上做了大量的努力,也取得了一定的成效。但钢铁企业粉尘污染的控制任务依然严峻,其中细微粉尘(呼吸性粉尘)污染的治理是一大难题。因此,笔者就冶金行业呼吸性粉尘的治理进行探讨,不断进行技术创新,研究出一套有效的净化系统,对节约资源、降低生产成本、改善企业工作环境,促进钢铁制造业的绿色化和可持续发展,具有重要的现实意义。

## 1 呼吸性粉尘的特性及危害

早在20世纪50年代,英国职业医学研究人员

对粉尘在人体呼吸系统的沉积规律进行了研究。研究结果认为:空气动力学直径在10  $\mu\text{m}$  以下的尘粒可进入呼吸道的深部,如气管、支气管、无纤毛的细支气管及肺泡等区域;而在肺泡内沉积的粉尘大部分是5  $\mu\text{m}$  以下的粉尘,特别是2  $\mu\text{m}$  以下的粉尘,进入肺泡区内的这部分粉尘才有可能引起尘肺病,通常称这部分粉尘为呼吸性粉尘<sup>[1]</sup>。

### 1.1 呼吸性微细粉尘的特性

在钢铁企业的皮带转运站、翻车机卸料等生产过程中,由于物料的相互撞击和自然风力的影响必然会产生扬尘,造成厂房室内作业环境的空气污染和室外大气污染,其中的呼吸性粉尘对人体危害最大。这些粉尘具有如下一些特点<sup>[2,3]</sup>:

1) 沉降速度慢,在空气中悬浮时间长。粉尘粒度小,一般都在10  $\mu\text{m}$  以下。这些粉尘的流动性强,易造成二次污染,尤其是小于5  $\mu\text{m}$  的粉尘能长期悬浮于空气中。

2) 吸水(湿)性差。粉尘在潮湿的空气或水蒸气里被湿润而相互凝聚,这种特性叫做粉尘的吸湿性。实际上,湿润现象是分子力作用的一种表现。粉尘的湿润性除决定于粉尘的成分外,还与尘粒大小、电荷状态、气温、气压、接触时间的长短等因素有关。

[收稿日期] 2007-09-13

[基金项目] 湖南省科技厅基金资助项目

[作者简介] 邹声华(1962-),男,湖南衡阳市人,湖南科技大学能源与安全工程学院教授;李 刚(1982-),男,湖南衡阳市人,湖南科技大学能源安全与工程学院硕士研究生,E-mail: hunankedaligang@163.com;李孔清(1974-),男,湖南衡阳市人,湖南科技大学能源与安全工程学院讲师,博士

在通常情况下,湿润性是随尘粒变小而减弱,随温度的上升而下降,随压力增加而增加,随粉尘与水接触时间的加长而加大。由于这些呼吸性粉尘的粒度细,比表面积大,加之它们的形成一般经过了物理化学变化,其表面光滑,因此吸湿性差。

3)扩散系数大,吸附性强。粉尘微粒之间存在着吸附力,粒径小、分散度高的呼吸性粉尘,其吸附性往往很强。因为表面积大的粉尘,颗粒之间自然接触面就大,其吸附力强、溶解性和化学活性也就随着增大。如果这些微细粉尘进入人体肺部就容易引起纤维性病变。

4)荷电性和凝聚性。悬浮于空气中的呼吸性粉尘通常带有微弱的电荷,它是由于破碎时的摩擦、粒子间撞击或放射性照射、电晕放电等原因而带电的。由实验得知,呼吸性粉尘带电后,带异性电荷的粒子互相吸引,凝聚性相对增强,使得尘粒易于沉降和捕获。

## 1.2 呼吸性粉尘对人体的危害

呼吸性粉尘能引起职业病。粉尘中的微细颗粒即“呼吸性粉尘”(尤指粒径小于 $5\ \mu\text{m}$ )对人体危害最大。它们粒径小、相对表面积大、吸附性强、扩散面宽、容易吸附煤烟中的致癌物质,与肺癌的发病率有明显的相关性<sup>[4]</sup>。工人长期吸入粉尘,轻者会引起呼吸道炎症,重者可导致肺尘埃沉着病。此外,作业地点粉尘过多,还会影响视线,甚至造成视力减弱,不利于及时发现事故隐患,从而增加了机械性人身事故的机率。

## 2 呼吸性粉尘降尘技术的综述与评价

除尘方法按其作用原理可分为:干法除尘、湿法除尘、过滤除尘和静电除尘。冶金行业大量采用的是高效除尘器,其中以袋式除尘器尤为广泛,电除尘器也有一定的使用范围,然而这些除尘设备对呼吸性粉尘的捕集效果却不佳。随着机械化程度的不断提高、开采强度的不断加大,产尘量和产尘强度也随之增大,各国研究人员围绕降低呼吸性粉尘开展了许多防尘技术的研究工作,研究出了一系列技术含量高、除尘效率好的降尘技术和设备,在呼吸性粉尘的净化研究领域取得了新的成果。以下简要介绍几种新的粉尘防治技术。

### 2.1 超声雾化抑尘技术<sup>[5,6]</sup>

超声雾化抑尘技术是利用声波凝聚、空气雾化的原理,从提高尘粒与尘粒、雾粒与尘粒的凝聚效率以及雾化程度来提高呼吸性粉尘的降尘效率。产生

声能的声波发生器是该项技术的关键。超声雾化器具有雾化效果好,耗水量低,雾粒密度大等优点。这种雾化器由压缩空气驱动,当高速气流冲击共振腔时,在出口与腔之间由于聚能而产生超声场,当泵入水时水迅速被雾化成浓密的微细水雾。

超声雾化抑尘技术是一种高效、节能、低成本的新型除尘技术,在应用中有许多优点:可简化除尘管理工作;抑尘技术无需清灰,避免了二次污染;抑尘系统占据空间很小,可节省厂房内有效空间,降低基建投资;抑尘系统不需要风机、除尘器和通风管道,比一般除尘系统节省投资,安装时间可节省 $2/3$ ;与一般除尘器相比,抑尘技术可节省 $1/3$ 能耗,大幅度降低除尘运营成本;结构简单,可靠性好,维修量少,维修费用低等等。

### 2.2 磁化水降尘技术<sup>[6]</sup>

从空气动力学原理来说,更细的、与粉尘粒径相近的水雾更能有效地从气流中除去粉尘。因此改善喷雾降尘法、提高水的雾化能力的另一条技术途径就是利用物理方法改变水的性质。磁化法就是一种简单有效的方法。

水是抗磁性物质,当对水施加一种外磁场时,水就要产生一个附加磁场,其方向与外磁场方向相反,由于外磁场与分子力的相互作用,削弱了分子间的内聚力,改变了水分子的氢键联系,迫使水的粘性下降从而改变水的表面张力,同时水中存在的杂质在流经磁场时也要被磁化,其中含电解质的离子磁化后产生的附加磁场的方向与外磁场方向相同,而非电解质的分子产生的附加磁场的方向与外磁场方向相反,这些磁力的相互作用最终促使水分子的内聚力下降,粘滞力减弱,从而不同程度地改变了水的基本结构,成为磁化水。由于粘度、表面张力降低,吸附、溶解能力增强,致使雾化程度得到提高,可以提高捕捉粉尘的机率。试验证明,水被磁化后,其表面张力有所降低,并随磁场强度的增加,下降幅度也增加,当磁极化强度达到 $450\ \text{MT}$ 时,水的表面张力可下降 $24\%$ 。水的粘度也有所下降,与磁极化强度的增大基本呈线性负相关关系。当磁场极化强度为 $450\ \text{MT}$ 时,动力粘度下降近 $2.8\%$ 。粉尘被磁化水浸润的速度与磁极化强度成正比。当磁极化强度为 $400\ \text{MT}$ 时,磁化水对粉尘的浸润时间比清水缩短 $31\%$ 以上。在此机理基础上研制的磁化喷嘴,可以实现对降尘用水的磁化作用,使水的成雾能力提高。

### 2.3 荷电水雾降尘技术<sup>[4,7]</sup>

荷电水雾除微细粉尘是一项正在兴起和研究的

具有较大应用前途的除尘技术。利用除尘空间中大量分布的荷电液滴作为捕尘体,缩短了粉尘与捕尘体之间的距离,充分利用了静电力,极大地提高了除尘效率。根据粉尘荷电与否可分为以下两种情况,一是粉尘荷电,当粉尘荷上与荷电液滴极性相反的电荷后,根据正负电荷相互吸引的原理,则粉尘将被荷电液滴所捕集,其捕集效果随各自所带电荷量增大而增强;二是粉尘不荷电,当粉尘不荷电时,荷电液滴产生镜像力,从而使粉尘被捕集,其捕集效果随液滴所带电荷量增大而增强。在抑尘技术中,荷电水雾除尘是一种较为有效的方法,特别是在净化微细粉尘方面具有诱人的前景。

#### 2.4 上述降尘技术的评价

现场调查得出,在工作面各生产环节产生的粉尘中,呼吸性粉尘含量较高,一般可达到 30%~60%左右。在皮带转运点处产生的呼吸性粉尘含量占粉尘总含量的 70%左右(质量百分数)。当前常用的喷雾除尘技术,普遍存在对呼吸性粉尘降尘效果差、耗水量大的缺点,除尘效率一般只有 30%。

上述 3 种方法是目前能有效治理呼吸性粉尘的方法,但荷电水雾降尘技术较为理想。

超声雾化抑尘技术对水具有较好的雾化性能,在除尘工程中发挥了比较大的作用。但是由于粉尘与捕尘的水颗粒粒径相当,一定程度上影响了除尘效率,因此还需要采取一定的外加措施加强颗粒间的凝并与沉降。

在磁化水除尘的应用中,由于磁化水的物理化学性质、除尘机理等方面的研究尚未明确,加之对水磁化的成本比较高,因此磁化水降尘技术在钢铁企业呼吸性粉尘治理中难以推广使用。

荷电水雾降尘技术较之清水喷雾技术,只是在水雾中带上了一定的静电荷,因此成本很低,基本上和普通喷雾技术相当。但是,实验表明,其降尘效率却比普通喷雾降尘技术提高了 30%以上。

综上所述,笔者认为,对冶金行业呼吸性粉尘进行净化是比较经济、有效的方案。为进一步提高喷雾降尘技术的降尘效果,结合前人的研究成果和钢铁企业的实际情况,笔者提出了在荷电水雾降尘技术的基础上,采用在喷雾溶液中添加湿润剂的方法,综合效果非常理想。

因此,该项技术对于环境污染严重的钢铁企业的粉尘治理实现了经济、降尘效率高的良好效果,是一项值得推广应用的除尘技术。

### 3 呼吸性粉尘的综合控制及实践

所谓综合控制,是从预防尘肺角度即从尘源到作业人员接尘的整个生产过程中,采取一系列的降、除、防尘技术措施,最大限度地减少作业人员的接尘量,使被人体吸入的粉尘量降到最低程度<sup>[8]</sup>。文章通过对某钢铁公司的现场调研、试验和分析研究,采用含添加剂荷电水雾除尘技术,并对其除尘效果进行了现场综合分析评价,发现此项技术是一项经济、节能、高效的除尘技术。

#### 3.1 现场呼吸性粉尘浓度分布情况

呼吸性粉尘浓度值的大小分布与作业场所产生环境及整理粉尘状况密切相关,不可一概而论。对某钢铁公司选取 110 个岗位测点位置,用 P-5L2C 型便携式微电脑粉尘仪进行呼吸性粉尘浓度测定。表 1 示出了该钢铁公司不同浓度区间呼吸性粉尘浓度分布的百分比。

表 1 呼吸性粉尘不同浓度区间浓度分布

Table 1 Respirable dust density distribution in different concentration regions

| 不同浓度区间/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | $\leq 2$ | 2~10 | 10~20 | $> 20$ |
|---------------------------------------|----------|------|-------|--------|
| 浓度分布百分比/%                             | 52       | 33   | 7     | 8      |

测定结果还显示:作业区呼吸性粉尘最高浓度达到了  $165 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,其平均浓度约为  $10.37 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

#### 3.2 湿润型抑尘剂抑尘

湿润型抑尘剂可以提高水对矿岩类粉尘的湿润效果,许多研究人员都曾采用湿润型抑尘剂来减少水雾滴的表面张力和改善微颗粒间的湿润性能等<sup>[9,10]</sup>,从而提高喷雾除尘的效果。由于水的表面张力较大,对粒径较小的呼吸性粉尘降尘效率在 30%以下。在清水中加入湿润剂后,可大大增加水对粉尘的浸润性,从而提高降尘效果。

本研究系统采用煤炭科学研究总院开发的 RD-1 型降尘剂定量添加装置在清水中加入稳定的湿润剂,并且误差小。试验结果表明,清水水雾对呼吸性粉尘的降尘平均效率低于 5%,对  $2 \mu\text{m}$  以下的微细粉尘几乎无捕集效果;而添加湿润剂后,呼吸性粉尘(特别是  $2 \mu\text{m}$  以下的微尘)的捕集效率可达到 30%左右。

#### 3.3 系统装置及流程

实验流程如图 1 所示,雾从喷雾水枪喷出,经过电介喷嘴使水雾荷电,喷出的带电水雾与空气中的呼吸性粉尘接触、碰撞、吸附并捕集。经过基础性实

实验研究可知,荷电水雾对呼吸性粉尘的降尘效率是随水雾荷质比的提高而线性上升的,最高可达到 80 % 左右。为实现这一目的,可采用以电介喷嘴为主要元件的荷电水雾技术,水的雾化通过喷雾水枪实现。此过程的原理是,水在高速通过电介喷嘴时,由于摩擦而产生带负电的水雾。因为钢铁企业产生的呼吸性粉尘大部分都自身带正电,通过水雾对带正电粉尘的静点吸引力和不带电粉尘的镜象吸引力而提高水雾对呼吸性粉尘的降尘效率。国内外学者的大量试验和研究证明,雾粒直径为 50~150  $\mu\text{m}$  时对呼吸性粉尘捕集效果最好<sup>[4]</sup>。综上所述,荷电水雾降尘技术的降尘效率的关键在于提高水雾荷质比和降低水雾粒径,并通过试验及现场具体情况得出最佳荷质比和最佳水雾粒径。

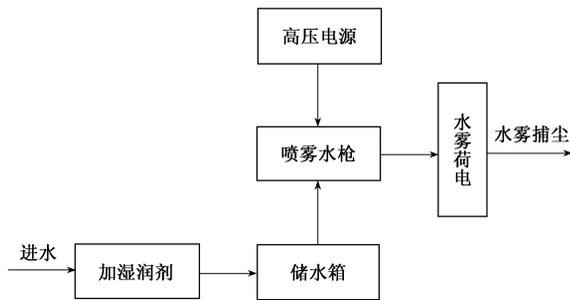


图1 试验装置结构

Fig.1 Structure block diagram of experimental apparatus

尽管如此,在捕集过程中还是有一定数量的呼吸性粉尘难以沉降,它们继续浮游在风流中。为此,可采用加强通风和改变通风方式的办法,使其不断被风流稀释并予以排除<sup>[11]</sup>。

### 3.4 除尘效果

为了考察使用含添加剂的荷电水雾降尘装置的降尘效果,对其中一工作面的粉尘浓度进行了测定,其降尘效果见表 2。可以看出,该喷雾装置对呼吸性粉尘的净化收集效果是非常明显的,降尘效率达到了 60 % 以上。

表2 测试结果

Table 2 Test results

| 项目     | 水量/<br>$\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ | 全尘浓度/<br>$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | 呼吸性粉<br>尘浓度/<br>$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | 总粉尘<br>降尘率<br>/ % | 呼吸性粉<br>尘降尘率<br>/ % |
|--------|---------------------------------------|--|---|-------------------|---------------------|
| 无除尘措施  |                                       | 268.2                                  | 43.7  |                   |                     |
| 采取除尘措施 | 26.5                                  | 33.8                                   | 15.0  | 87.4              | 65.6                |

## 4 结论

1)在清水中添加湿润剂,是提高呼吸性粉尘降

尘效率的良好途径。实验得出:水中加入湿润剂,其降尘效率较之清水能提高 60 %~90 %。

2)荷电水雾除尘是湿法除尘的一种改进,是电法与湿法这两类除尘方法的结合,把水喷成雾,在喷雾的同时让雾滴带电,这样既可提高除尘效率,又能减少耗水量。国外的研究及现场试验表明,荷电水雾除尘技术与常规喷雾降尘技术相比,能使呼吸性粉尘浓度降低 1/3~1/2 以上,节约 1/3 左右耗水量<sup>[12]</sup>。

3)水雾荷质比是评价水雾荷电性能的重要参数。水雾荷质比越大,则捕集效率就越高。

4)水雾越细,对呼吸性粉尘的降尘效果越好,但分析研究表明,雾粒直径 50~150  $\mu\text{m}$  时对微细粉尘捕集效率最好。

5)从可持续发展观点思考除尘技术,控制粉尘污染应与物料回收利用同步考虑。冶金行业的粉尘,排入到大气中对环境是污染物,而将其捕集下来则是重要的原材料。

## 参考文献

- [1] 王自亮. 浅谈呼吸性粉尘[J]. 煤炭科学技术, 1998, 26(7): 38~39
- [2] 朱润生, 陈继福. 通风安全技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005
- [3] 陈砚雄, 冯万静. 钢铁企业粉尘的综合处理与利用[J]. 烧结球团, 2005, 30(5): 42
- [4] 吴琨, 王京刚, 毛益平, 等. 荷电水雾谐振除尘技术机理研究[J]. 金属矿山, 2004, 338: 59
- [5] 徐立成, 孙和平. 微细水雾捕尘理论与应用[J]. 通风除尘, 1996(4): 16~18
- [6] 卢鉴章. 我国煤矿粉尘防治技术的新进展[J]. 煤炭科学技术, 1996, 24(7): 1~2
- [7] 王银生, 王英敏. 静电喷雾除尘适于微细粉尘的理论分析[J]. 东北大学学报(自然科学版) 1996, 17(3): 301~302
- [8] 李华炜. 煤矿呼吸性粉尘及其综合控制[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(7): 68
- [9] Wu Chao, Chugh Y P. A comprehensive survey of chemical dust suppressants in the world over the last 15 years[A]. Proceedings of 2000's International Symposium on Safety Science and Technology [C]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000. 705~719
- [10] 吴超, 欧家才, 周勃, 等. 湿润剂溶液在硫化矿粉尘中的反向湿润行为研究[J]. 安全与环境学报. 2005, 5(4): 65~68
- [11] 赵益芳. 矿井防尘理论及技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995
- [12] 李德文. 预荷电喷雾降尘技术的研究[J]. 矿业安全与环保, 1994, (6): 8~10

(下转第 208 页)