

声波团聚 - 除尘在线试验装置的开发与应用

解建坤, 储昊, 夏瑞芳, 舒中平
(南京常荣声学股份有限公司, 南京 210000)

摘 要:为解决燃煤电厂现有除尘设备对于微米/亚微米级细颗粒物脱除效率低的难题,以声波团聚理论和基于流场转换的多相分离技术为基础,研制开发声波团聚 - 除尘在线试验装置。采用电厂脱硫烟气进行了声波团聚 - 除尘的初步试验研究,分析声波团聚对 PM_{10} 的粒径分布与除雾器出口总尘质量浓度的影响,为声波团聚再除尘的工业应用提供试验依据。

关键词:燃煤电厂;声波团聚;除尘;脱硫烟气

中图分类号:X 513 **文献标志码:**A **文章编号:**1674 - 1951(2017)09 - 0013 - 03

0 引言

燃煤电厂排放的烟尘是大气中可吸入颗粒物的主要来源。可吸入颗粒物尤其是细颗粒物($PM_{2.5}$),其粒径小、颗粒数浓度大、易富集其他有害物质,严重危害人类健康^[1]。对于烟尘中粒径较大的飞灰颗粒,电除尘器、袋式除尘器等高效除尘装置可达到 99% 以上的除尘效率,但对于微米/亚微米级(粒径小于 10 μm)的烟尘颗粒,现有除尘装置的捕获效率低^[2-3],除尘效果差,仍有大量超细颗粒物排放到大气中,构成大气气溶胶的主要部分。大气环境中可吸入颗粒物是引发城市大气酸雨、光化学烟雾和空气能见度低的重要因素,其对人体的危害已引起各国科学家的高度重视。

声波团聚是清除细颗粒物的一种有效方法,在 高强声波作用下,细颗粒在短时间内碰撞、团聚长大,颗粒将从小尺寸向大尺寸演变,平均粒径增大,颗粒数浓度降低,通过常规除尘设备即可实现高效清除,进而可实现超低排放。

声波团聚的过程较为复杂,涉及的作用机制包括同向团聚机制、声波尾流效应、声致湍流作用、共辐射压作用等^[4]。自 20 世纪 70 年代以来,众多学者对声波团聚进行了深入的试验研究,并在声波团聚机制及理论模型的建立方面得出很多有益结论,但在一些关键性问题上还没有得出一致结论^[5]。

本文以声波团聚理论和基于流场转换的多相分离技术为基础,开发声波团聚 - 除尘在线试验装置。通过在某电厂脱硫净烟道的试验研究,分析声波作用频率、声压强度、声波作用时间等参数对再除尘效率的影响,为声波团聚再除尘的工业运用提供试验

依据。

1 试验装置开发

声波团聚 - 除尘在线试验装置主要由烟气供给系统、声波团聚装置、除雾器(基于流场转换的多相分离装置)、收集装置以及烟尘检测系统等组成,试验装置系统如图 1 所示。

烟气供给系统由变频风机及相应的连接配管等组成。试验时,变频风机通过配套接管直接抽取烟道中的烟气,配合流量计使试验装置中产生与烟道相同的烟气流速。

声波团聚装置由声源和团聚室组成(团聚室上部安装 2 个 6.35 mm 的声传感器,实时监测团聚室内声压强度及分布)。声源由 2 个电声扬声器(型号为 KTD - 250)和 2 个高频哈德曼哨(10 000/12 000 Hz)组成,各声源可单独工作并可实现不同类型的组合。声源组合可在团聚室内产生 200 ~ 20 000 Hz 的高强声场且频率可调,可保证团聚室内达到 150 dB 以上相对均匀的高强度作用声场^[6]。团聚室设计隔声量为 30 dB 以上,1 000 Hz 时团聚室内声场分布如图 2 所示。

团聚室出口连接除雾器,该除雾器是基于流场转换的多相分离装置,通过螺旋离心分离,文丘里增压、提速,均流扰动,实现三级分离,气固(液)分离效率高,压力损失小,并可避免颗粒的二次夹带^[7]。除雾器内多相流场如图 3 所示,不同粒径、流速下的分离效率及压损如图 4 所示。

在流场作用下,颗粒经除雾器多级分离,初步从气相中分离出来,从图 3 中多相流场的颗粒运动轨迹可明显看出,除雾器出口的颗粒数浓度较入口有明显降低。

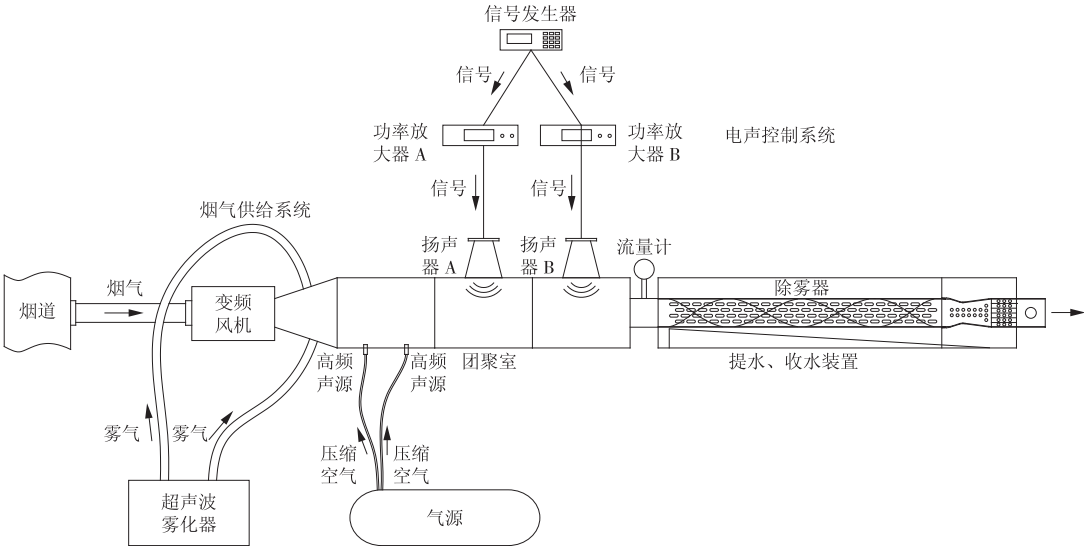


图 1 声波团聚除尘在线试验装置

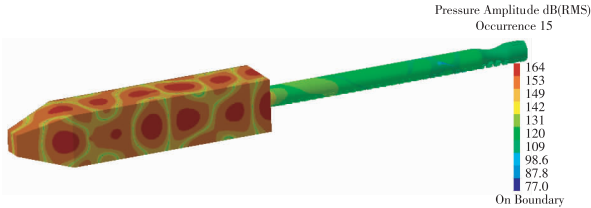


图 2 试验装置内声场分布

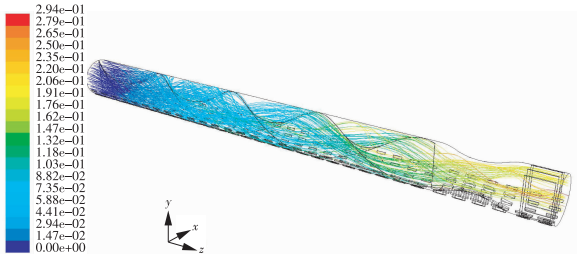


图 3 除雾器内颗粒运行轨迹

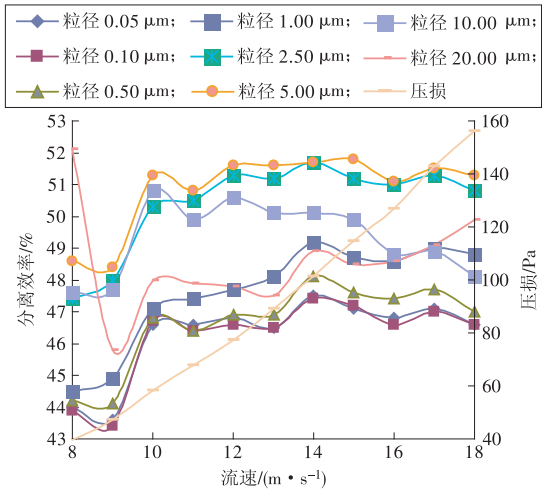


图 4 不同粒径、不同工况下除雾器分离效率及压损

图 4 为除雾器内不同粒径的颗粒在不同烟气流速下的分离效率与压力损失曲线,PM₁₀在 10 m/s 以上烟气流速条件下的分离效率达到 46% 以上,而在最高 18 m/s 烟气流速下,除雾器的压力损失不高于

149 Pa。因此,该除雾器可应用于电厂烟气排放系统的除尘装置之后,在低阻力条件下实现 PM₁₀ 的二次脱除,进而实现超低排放。

除雾器底部设有固(液)收集装置,并配有水冲洗设备。试验装置前后端设有烟气测量口,采用 JH-60E 型自动烟尘烟气测试仪对声波团聚、分离前后的粒径、烟尘质量浓度、SO₂ 质量浓度等进行测量。

当烟气气溶胶颗粒数浓度很低时,颗粒之间距离较大,需要更长的碰撞团聚时间,因此,团聚室前端设置种子颗粒喷雾装置,增加种子雾颗粒,以减小颗粒间距,提高团聚效果^[8]。试验装置均采用防腐材料,以满足现场试验的要求。

2 试验应用研究

声波团聚除尘在线试验研究依托某电厂 300 MW 机组脱硫系统进行。该电厂二级脱硫塔(海水塔)出口 SO₂ 排放质量浓度小于 22 mg/m³ (标态、干基,6% O₂),满足火电厂大气污染物特别排放限值要求,但烟尘排放质量浓度为 8 mg/m³ (标态),尚未达到超低排放标准要求。

试验时,从二级脱硫塔出口净烟道引出脱硫烟气到声波团聚-除尘在线试验装置中,配合流量计并调节风机变频器,使在线试验装置中产生与原净烟道相同的烟气流速(8 ~ 14 m/s)。

2.1 声波团聚对 PM₁₀ 的影响

在保证团聚室内声压强度(150 dB)的条件下,调节声源组合和发声频率,并对除雾器前测点的 PM₁₀ 粒径分布进行测量,测量结果如图 5 所示。

测试结果表明:PM₁₀ 颗粒数浓度在 1 600 Hz 声波作用下降低 15% ~ 25%,特别是峰值粒径,颗

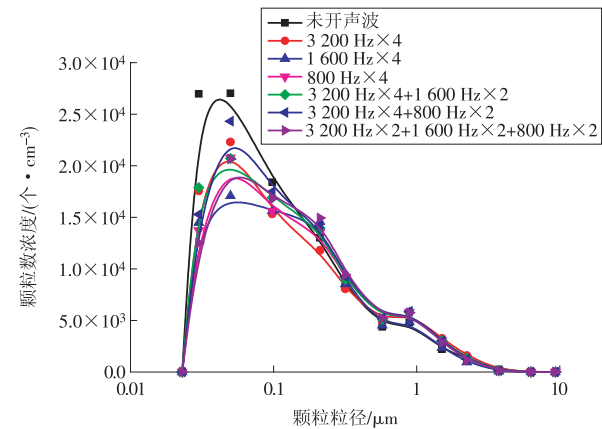


图 5 不同声波组合下 PM₁₀ 粒径分布

粒数浓度有明显降低,颗粒物总体呈团聚长大趋势。进一步调节声波到最佳作用频率,颗粒物将达到最佳团聚效果^[9],以便后续除尘设备的高效脱除,并为声波团聚除尘的工业应用提供声波参数依据。

2.2 声波团聚对总尘质量浓度的影响

分别在无声波运行、运行声波、同时运行声波和喷雾装置 3 种试验条件下(试验装置内烟气状况基本一致),对除雾器进、出口烟尘质量浓度进行测量,测试结果见表 1。

表 1 总尘质量浓度测试结果

工况	测点	总尘质量浓度/(mg·m ⁻³)
无声波	除雾器入口	8.63
	除雾器出口	5.67
声波	除雾器出口	4.13
声波+喷雾	除雾器出口	3.42

无声波装置运行时,除雾器进、出口粉尘质量浓度平均值分别为 8.63,5.67 mg/m³,除雾器本身的脱除效率约为 35%;运行声波装置,除雾器出口总尘质量浓度降到 4.13 mg/m³,除尘效率增加到 52% 以上;同时运行声波和喷雾装置,除雾器出口总尘质量浓度降到 3.42 mg/m³,总尘脱除效率达到 60% 以上。本次试验条件下,声波团聚除尘在线试验装置的再除尘效率达 60% 以上,可实现该电厂烟尘的超低排放。

3 结论

本文以声波团聚和基于流场转换的多相分离为基础,研制开发可应用于现场试验测试的声波团聚-除尘在线试验装置。采用电厂脱硫烟气进行了声波团聚-除尘的试验研究,分析声波团聚对颗粒物粒径分布及总尘质量浓度的影响,为声波团聚、再除尘的工业应用提供试验依据。

(1) 声波团聚-除尘在线试验装置满足电厂脱硫烟气的使用环境,声波频率 200~20 000 Hz 可调,

并可保证团聚室内足够的声压强度,可利用现场烟气进行同烟气流速条件下的声波团聚-除尘试验测试。

(2) 通过电厂的初步试验研究,声波作用下,PM₁₀ 颗粒数浓度有较为明显的降低,颗粒物有团聚长大的趋势,调节声波作用频率,可达到最佳团聚效果。除雾器前、后烟尘质量浓度的测量结果表明,在该套装置的协同作用下,脱硫系统再除尘效率达到 60% 以上。

(3) 根据声波团聚-除尘在线试验装置的作用机制,该装置同样可进行电厂去除“湿烟羽”的试验研究,为电厂除湿、去白、节水等工业应用提供试验依据。

参考文献:

[1] 李晓明. 常温下燃煤飞灰颗粒在高频声场中的团聚的研究[D]. 杭州:浙江大学,2008:1-7.

[2] DESARABIA E R F, GALLEG0-JUAREZ J A, RODRIGUEZ-CORRAL G, et al. Application of high-power ultrasound to enhance fluid/solid particle separation processes[J]. Ultrasonics, 2000, 38(8): 642-646.

[3] HOFFMANN T L. Environmental implications of acoustic aerosol agglomeration[J]. Ultrasonics, 2000, 38(1-8): 353-357.

[4] 张光学, 刘建忠, 周俊虎, 等. 燃煤飞灰低频下声波团聚的试验研究[J]. 化工学报, 2009, 60(4): 1001-1006.

[5] TIWARY R, RETHOF G. Numerical simulation of acoustic agglomeration and experimental verification[J]. Journal of vibration & acoustics, 1987, 109(2): 185-191.

[6] GALLEG0-JUAREZ J A, SARABIA R F D, RODRIGUEZ-CORRAL G, et al. Application of acoustic agglomeration to reduce fine particle emissions from coal combustion plants[J]. Environmental science & technology, 1999, 33(21): 3843-3849.

[7] 张荣初, 王敬福, 解建坤, 等. 一种基于流场转换的分离装置: 201620702883.5[P]. 2016-12-21.

[8] 张光学, 张丽丽, 刘建忠. PM_{2.5} 颗粒声波团聚控制技术[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 49-56.

[9] 王晓国. 湿法脱硫后烟气细颗粒物的声波团聚[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014: 23-26.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

解建坤(1983—),男,山东临沂人,工程师,工学硕士,从事声学理论与应用方面的研究(E-mail: xjk0908@163.com)。

储昊(1989—),男,江苏南京人,工程师,从事电厂超低排放、声波吹灰方面的研究(E-mail: chuhaocc@foxmail.com)。