

## 试验研究

## 列管式换热装置在高温高尘烟气中的应用研究

张学峰, 王伟能

(煤科集团杭州环保研究院有限公司, 浙江 杭州 311201)

**摘要:**针对常规燃煤锅炉烟气换热器降温存在的问题,开发了一种在高温高尘环境下长期稳定运行的列管式换热装置,通过列管式换热器、声波清灰装置和 PLC 自控系统的应用保证了降温效果,提高了后续的布袋除尘的可靠性。该列管式换热装置已稳定运行近 2 年,各项指标均达到了设计要求。

**关键词:**高温;高尘;降温装置

中图分类号:X701

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2018)02-0013-03

## APPLICATION OF SHELL-AND-TUBE TYPE HEAT EXCHANGE DEVICE IN DUSTY FLUE GAS WITH HIGH TEMPERATURE

ZHANG Xue-feng, WANG Wei-neng

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

**Abstract:**Aiming at the issue of cooling gas heat exchange device in coal-fired boiler, a shell-and-tube type heat exchange device was developed for long-term stable operation in high-temperature and high-dust circumstance. The application of the shell-and-tube type heat exchange device, sonic dust cleaner and PLC auto-control system ensured the cooling effect and improve the reliability of the subsequent bag filter. This heat exchange device has been operating stably for nearly two years and all indexes meet the design requirements.

**Key words:** High temperature; High dust; Cooling device.

布袋除尘器作为燃煤锅炉烟气除尘工艺已被我国广泛应用<sup>[1]</sup>,为满足其使用条件(温度 $\leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ )必须在布袋除尘前进行降温。目前,我国燃煤锅炉烟气一般采用换热器降温,利用冷空气或低温介质与烟气换热来降低温度。这一降温工艺存在如下问题:一是积灰严重无法长期有效运行;二是控温不够完善使进入布袋除尘的烟气不能稳定在一定的范围;三是余热利用率低,造成能量损失<sup>[2]</sup>。

本文探索和研究了一种在高温高尘环境下能

长期稳定运行的列管式换热装置,成功将其高温烟气及时降温并可在一定范围内调节出口烟气温度,且在高尘状态下稳定长期运行。

### 1 装置的设计

#### 1.1 结构设计与技术参数

国内外常见的换热器类型有:板式换热器、列管式换热器、翅片式换热器、混合式换热器、蓄热式换热器等<sup>[3]</sup>。为满足袋式除尘器温度控制的需要,同时考虑到高温、高压、高尘的运行环境,我们以列管式换热器为主体,探索和研究了一种列管式换热装置,其特点是:单位体积所具有的传热面

积大,传热效果好,结构紧凑,易清灰,能用多种材料制造,适应性强,操作弹性大。结构如图 1 所示。

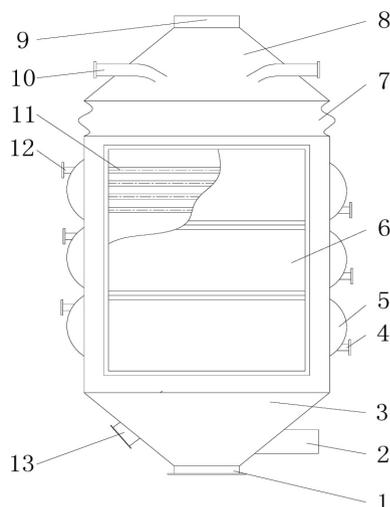


图 1 列管式换热装置结构示意图

1-下灰口;2-烟气出口;3-汇合斗;4-冷却水进口;5-均流器;  
6-分块检修孔;7-膨胀节;8-喇叭口;9-烟气进口;10-声波管;  
11-换热管;12-回流水出口;13-人孔

在材质选用上均采用 ND 钢,此种钢热稳定性好,耐冲刷、耐腐蚀。广泛应用于电厂和炼油厂等高温、高烟尘、高含硫烟气的省煤器、空气预热器、热交换器和蒸发器中,用以抵御烟气结露腐蚀、磨损。特别的在烟气进口区域为防止高尘气体对装置的冲刷,在烟气进口区域内壁涂 50 mm 厚的喷涂料,一方面起绝热作用,另一方面起耐冲刷作用。

装置主要技术参数如下表 1

表 1 技术参数

热侧		冷侧	
介质名称	高温、高尘烟气	介质名称	工艺水
烟气量	2 000~6 000 m <sup>3</sup> /h	流量	20~60 m <sup>3</sup> /h
烟气含尘量	8~15 g/m <sup>3</sup>	换热面积	10~30 m <sup>2</sup>
进口烟气温度	400~600 ℃	进口温度	≤30 ℃
出口烟气温度	120~200 ℃	出口温度	≥35 ℃

## 1.2 清灰设计

积灰和结垢是影响换热设备安全和稳定运行的主要障碍,它不仅降低了换热器的换热效率且加快了设备的腐蚀和损坏。积灰按其特性一般可分为分散型积灰、粘附性积灰和粘结型积灰,在低温区一般生成分散型积灰和粘附性积灰,在高温

区和过渡温区生成粘结型积灰。积灰形成的机理复杂,形成的积灰体系也同样复杂,特别在高尘状态(8~15 g/m<sup>3</sup>)下,传统的清灰设计,如喷吹清灰、振打清灰等很难全面、稳定、长期的运行。

本装置的独特之处在于换热设备内部安装了声波清灰装置,可保证设备内壁、管壁和换热面不积灰、不结垢,从而使装置能够长期高效的运行。声波清灰是通过声波的作用而完成的,声波是以压缩空气、蒸汽或者其他压缩气体为原动力,由声波发生器转换为声波,而声波是一种以能量形式存在的机械波,其清灰的基本原理在于声波对积灰的高加速度剥离作用和振动疲劳破碎作用。声波清灰的优点在于清灰空间大,凡是声场作用范围内,都可达到清灰效果,特别在换热器的边角、旁角、间隙都能达到清灰目的,从而在根本上解决了清灰难这一问题。

## 2 系统运行及结果

### 2.1 系统运行

系统内包括两台列管式换热装置,采用一用一备的方式运行,其工艺流程如图 2 所示。正常运行时,其中一台装置的进出口蝶阀、冷却水调节阀处于打开状态,另外一台装置处于关闭状态,来自燃煤锅炉的烟气经过装置后进入布袋除尘器,同时调节冷却水调节阀使出口烟气温度稳定在 120~200 ℃。

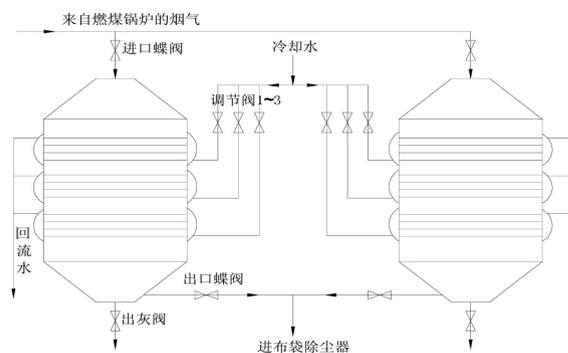


图 2 工艺流程

#### 2.1.1 控温运行

系统根据试验性工程需要和高温环境的变化,PLC 自控系统自动调节 1~3,来满足布袋除尘器温度需要,同时当遇到如烟气进口温度超过设计值、烟气量加大等此类突发状况,自控系统会自动打开另一台换热装置以满足布袋除尘器的温度

要求。

### 2.1.2 清灰运行

声波清灰的方式可分为人工操作和 PLC 自动控制(定时与定阻)两种。系统正常运行时,声波清灰切入自动清灰模式,根据设定值自动及时的清灰;当切换装置或者停运检修时采取人工操作清灰,以保障工程系统的稳定、连续、高效运行。

### 2.2 运行结果

该列管式换热装置于 2016 年 6 月 8 日正式投入运行,在高温、高尘环境下正常稳定、连续运行近 2 年时间,投运后各项指标均达到了设计要求,其运行结果如下图 3、4 所示。烟气出口温度随着水量(冷却水 $\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ )的增大而减小,但随着烟气的量的增大而增大。

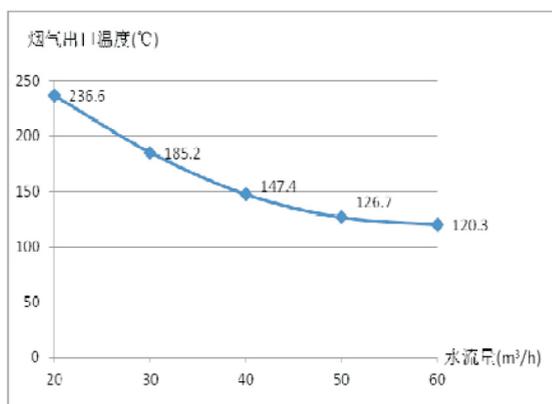


图 3 烟气出口温度与冷却水关系  
(进口烟气温度 460 °C, 烟气流 5 000 m³/h)

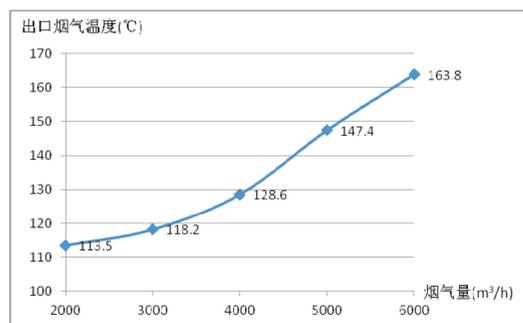


图 4 烟气流与出口烟气温度关系  
(进口烟气温度 460 °C, 水流量 40 m³/h)

## 3 结论

综上所述,该列管式换热装置适用于高温、高尘环境下的换热降温,特别对换热装置清灰防垢问题有根本性的改变,保证了降温效果,使设备运行状态良好、稳定,提高了后续的布袋除尘的可靠性。整套系统装置紧凑<sup>[4]</sup>,建设、安装方便,操作、控制简单,运行可靠,经济适用,在高温、高尘等复杂不利环境下换热降温方面具有很好的推广应用价值。

## 参考文献

- [1]徐笑难,马青兰,周侣艳.中小型燃煤锅炉烟气的除尘脱硫.上海环境科学,1996,15(10):22
- [2]矫明,徐宏,等.新型高效换热器发展现状及研究方向[J],化工装备技术,2007,33(3):41-46
- [3]刘明.新型换热器技术发展及其应用[J].山西能源与节能,2004,33(3):31-33
- [4]何世权,姜飞,等.紧凑型换热器技术进展及应用[J],石油化工设备,2004,30(5):48-50

(上接第 9 页)

characteristics of diatomite[J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2000, 25(3-4):149-165.

[3] Hu R, Wang X, Dai S, et al. Application of graphitic carbon nitride for the removal of Pb (II) and aniline from aqueous solutions[J]. Chemical Engineering Journal, 2015, 260(3):469-477.

[4] 袁巍巍. 硅藻土基多孔矿物复合材料制备及其对有机污染物的吸附/催化性研究[D]. 中国科学院大学, 2016.

[5] Al-Degs Y, Khraisheh M A, Tutunji M F. Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite[J]. Water Research, 2001, 35(15):3724-8.

[6] 李澜,谷晋川,张德航,等.壳聚糖与硅藻土调理市政污泥[J].土木建筑与环境工程,2017,39(01):140-146.

[7] 范艺,王哲,赵连勤,等.锆改性硅藻土吸附水中磷的研究[J].环境科学,2017,38(4):1490-1496.

[8] 龚真萍.壳聚糖改性硅藻土对酸性染料废水的处理效果[J].毛

纺科技,2016,44(09):31-35.

[9] 尚尉,钱学仁,孟晓敏,等.聚丙烯酰胺改性硅藻土在废水处理中的应用研究[J].硅酸盐通报,2016,35(4):1245-1248.

[10] 施云芬,魏冬雪,奚海军,等.基于硅藻土悬浮填料制备及其对有机废水吸附研究[J].硅酸盐通报,2015,34(2):481-486.

[11] 马丽丽,解庆林,陈南春,等.碳酸钙改性硅藻土处理电解锌漂洗废水实验研究[J].环境工程,2017,35(7):49-53.

[12] 马丽丽,解庆林,陈南春,等.锰氧化物改性硅藻土对水中 Cd ( ) 的吸附性能研究[J].环境工程,2017,35(6):59-64.

[13] 郑水林,孙志明,胡志波,等.中国硅藻土资源及加工利用现状与发展趋势[J].地学前缘,2014,21(5):274-280.

[14] 郭中权,王守龙,朱留生.煤矿矿井水处理利用实用技术[J].煤炭科学技术,2008(7):3-5.

[15] 向斯,邓敬轩,赵以军,等.皮革废水处理中絮凝沉降工艺的改进与应用[J].环境工程学报,2016,10(9):4951-4955.

[16] 吴蕾,陈云峰.改性硅藻土用于巢湖水脱磷研究[J].环境工程学报,2011,05(4):777-782.