

基于陶瓷行业脱硫塔管束除雾器 流速调控装置的设计研究

李伟江¹, 何建林²

(1.佛山华清智业环保科技有限公司, 广东 佛山 528200;

2.广东环境保护工程职业学院 机电工程系, 广东 佛山 528216)

摘要: **目的** 针对陶瓷行业烟气“超净排放”须达到的标准(颗粒物浓度小于 5 mg/Nm^3)要求, 创新设计管束除雾器流速调控装置结构。**方法** 在脱硫塔管束除雾器流速调控装置的出口末端均匀布置多组调节阀, 根据实际工况烟气量通过调节延伸在塔外的调节杆控制阀门启闭的数量, 进而控制通过管束除雾器的总烟气量, 实现单筒管束除雾器的筒内流速在设计范围内。**结果** 工作时, 整列实现启闭, 单列调控可控制最大烟气量达 $5.7\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ 。当脱硫塔控制进口颗粒物质量浓度小于 50 mg/m^3 时, 管束除雾器内筒烟气流速小于 5 m/s , 颗粒物质量浓度为 $13\sim 15\text{ mg/m}^3$ 。当内筒烟气流速处于 $5\sim 7\text{ m/s}$ 时, 颗粒物质量浓度为 $7\sim 10\text{ mg/m}^3$ 。**结论** 该流速调节装置的使用能确保管束除雾器单筒内的流速不低于设计值, 可避免因喷雾塔开停导致工况烟气量波动而影响除雾器的效率。

关键词: 陶瓷行业; 管束除雾器; 流速调控装置; 烟气工况波动

中图分类号: TQ051.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)02-0027-04

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.02.005

Design and Research of Flow Rate Control Device of Tube Bundle Demister Based on Ceramic Industry Desulfurization Tower

LI Wei-jiang¹, HE Jian-lin²

(1. Foshan Huaqing Zhiye Environmental Protection Technology Co., Ltd, Foshan 528200, China; 2. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Guangdong Polytechnic of Environmental Protection Engineering, Foshan 528216, China)

ABSTRACT: According to the “ultra-clean emission” standard of flue gas in ceramic industry (the concentration of particulate matter is less than 5 mg/Nm^3), innovatively design the structure of flow rate control device of tube bundle demister. Several sets of regulating valves are uniformly arranged at the outlet of the flow rate control device of tube bundle demister in desulfurization tower, according to the actual working condition, the quantity of the valve opening and closing is controlled by adjusting the

收稿日期: 2020-07-15; 修订日期: 2020-08-16

Received: 2020-07-15; Revised: 2020-08-16

基金项目: 2018年佛山市科技局自筹经费类科技计划项目(K683019012012)

Fund: Supported by the 2018 technology projects funded by the Foshan Science and Technology Bureau (K683019012012)

作者简介: 李伟江(1990—), 男, 工程师, 主要研究方向为环保设备设计与制造。

Biography: LI Wei-jiang (1990—), Male, Engineer, Research focus: environmental protection equipment design and manufacturing.

通讯作者: 何建林(1978—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为机械设计与制造。

Corresponding author: HE Jian-lin(1978—), Male, Master, Lecturers, Research focus: mechanical design and manufacturing.

引文格式: 李伟江, 何建林. 基于陶瓷行业脱硫塔管束除雾器流速调控装置的设计研究[J]. 装备环境工程, 2021, 18(2): 027-030.

LI Wei-jiang, HE Jian-lin. Design and research of flow rate control device of tube bundle demister based on ceramic industry desulfurization tower[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(2): 027-030.

adjusting rod extending outside the tower, and then the total quantity of the flue gas passing through the tube bundle demister is controlled, so that the flow rate in the tube of the single tube bundle demister is within the design range. During operation, the whole train can be opened and closed, and the single train can control the maximum flue gas volume up to $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$. When the mass concentration of particulate matter at the inlet of the desulfurization tower is less than $50 \text{ mg}/\text{m}^3$, the flue gas flow rate in the inner tube of the tube bundle demister is less than $5 \text{ m}/\text{s}$, and the mass concentration of particulate matter is $13 \sim 15 \text{ mg}/\text{m}^3$. When the flue gas flow rate in the inner tube is $5 \sim 7 \text{ m}/\text{s}$, the mass concentration of particulate matter is $7 \sim 10 \text{ mg}/\text{m}^3$. The flow rate control device can ensure the flow rate in the tube bundle demister not lower than the design value, and can avoid the influence of the efficiency of the demister caused by the fluctuation of the flue gas volume in the working condition of the spray tower.

KEY WORDS: ceramic industry; tube bundle demister; flow rate control device; flue gas operating condition fluctuation

陶瓷行业的窑炉所排放出来的烟气，温度可达 $600 \sim 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ ，烟气中含有大量的粉尘及粉尘颗粒，粒径为 $5 \sim 10 \text{ }\mu\text{m}$ ，甚至在亚微米级。高温烟气中粉尘的粘滞力是动态变化的，分离难度大。烟气中包含有害物质、氯化物和硫化物等酸性气体，具有较强的腐蚀性，一旦这些高温烟气随意排放，将会对环境造成极大污染。

目前，应用于陶瓷行业中烟气脱硫除雾的常规除雾器有平板除尘雾和屋脊式除尘雾等，但上述两种除雾器难以达到 $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 的标准。若要实现“超净排放”标准（颗粒物质量浓度小于 $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ），则需加装湿式静电除雾器，但是湿式静电存在投资大、运行费用高等问题^[1-4]。鉴于此，设计出了管束除雾器，已在煤炭发电厂脱硫除雾除尘中广泛应用，技术较成熟。管束除雾器首次引用到陶瓷行业中，对陶瓷行业的烟气脱硫除雾除尘能够实现超净排放具有重大意义。与湿电除雾除尘技术相比，其更节省能耗，能大幅降低一次性投资成本，但是管束除雾器在使用中容易出现因喷雾塔开停导致工况烟气量波动而影响除雾除尘效率。

1 结构及工作原理

管束式除尘除雾器是一种具有凝聚、捕集、湮灭作用的除雾装置，它由管束筒体和多级增速器、分离器、汇流环及导流环组成。通常布置在吸收塔内顶部，除维持吸收塔正常运行水位外，其最大功能是去除含硫烟气经过反应区时与石灰石浆液进行反应后形成的雾滴^[5-8]。管束除雾器正常工作需有足够的工况烟气量，以确保烟气经过管束除雾器时有较快的流速，单筒管束除雾器的筒内设计流速须在 $5 \sim 7 \text{ m}/\text{s}$ 。气流在内筒壁螺旋上升，产生较强的离心力，与烟气中的雾滴在筒壁耦合凝并，形成大颗粒雾滴，得以去除。

2 使用现状及策略研究

陶瓷行业原料车间喷雾塔制粉需要根据窑炉烧

成砖胚的产量进行调节开启喷雾塔的数量，每座喷雾塔开塔、停塔和转产的时候，脱硫除雾除尘的总烟气量会产生较大的波动，工况负荷波动范围在 $50\% \sim 110\%$ ，易造成管束除雾器流速不能达到设计范围值，进而严重影响除雾除尘效率，限制了管束除雾器在陶瓷行业的推广应用。为解决上述问题，现设计一种应用于陶瓷行业脱硫塔管束除雾器的流速调控装置。

3 管束除雾器流速调控装置的创新设计

3.1 流速计算

项目烟气处理量为 $1.02 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ ，塔直径为 9.8 m ，总安装管束数量为 301 套，管束设计流速为 $5.5 \text{ m}/\text{s}$ 。实际工况烟气量为 $7.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ ，管束运行流速为 $3.6 \text{ m}/\text{s}$ 。均匀设置 6 列，共 86 套流速调节装置控制烟气量通过管束除雾器的截面积。当烟气量工况仅有 70% 负荷时，通过控制塔外调节杆关闭 86 套风量调节装置，管束运行流速可达 $5.4 \text{ m}/\text{s}$ ，确保流速在设计的 $5 \sim 7 \text{ m}/\text{s}$ 范围。

3.2 创新设计

烟气流经叶片的流速、离心力、分离效果以及液滴捕获量和管束壁液膜形成的厚度均取决于入口导流叶片角度的设计。如图 1 所示，分离叶片采用多级、多角度设计，可实现多级组合和角度调整。在流速不均的条件下，雾滴和粉尘脱除效果也能得到保证，同时能有效避免二次雾滴的出现。叶片在管束中主要起导流的作用，设计的参数主要是依据烟气量和动力场数值，烟气量是随着机组负荷动态变化的，借助专用软件进行模拟计算，得出结果^[9-11]。

管束除雾器的单个调控阀门设计结构如图 2 所示，由阀体、阀板、连接杆套管和固定件组成。阀门材质均为轻便和环保型的 PP 耐酸耐腐材料，耐温小于 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 。每个调节阀门的启闭均从顺时针方向水平



图 1 管束除雾器及叶片结构

Fig.1 Tube bundle demister and blade structure

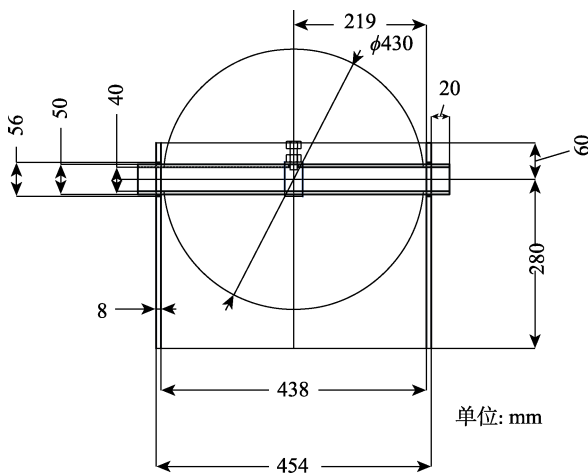


图 2 管束除雾器单个调控阀结构

Fig.2 Single control valve structure for tube bundle demister

旋转 0°~90°，阀板中心的连接杆套管可通过调节杆将

多个调控阀串联成列。工作时，整列实现启闭，单列调控可控制最大烟气量达 $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。当脱硫塔控制进口颗粒物质量浓度小于 $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ 时，管束除雾器内筒烟气流速小于 $5 \text{ m}/\text{s}$ ，颗粒物质量浓度为 $13 \sim 15 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。当内筒烟气流速处于 $5 \sim 7 \text{ m}/\text{s}$ 时，颗粒物质量浓度为 $7 \sim 10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。这种阀门的调控方案设计能有效地应对烟气工况量变化时对烟气流速的控制。

3.3 管束除雾器安装与性能测试

管束除雾器安装在脱硫塔喷淋层上部，距顶端喷淋层 3.5 m 的位置，如图 3 所示。管束高度为 3 m，调控装置安装在管束除雾器顶部。依据单筒管束的排列顺序选择调控装置的分列布局。通过调控装置，稳定管束除雾器流速，能够完全适应烟气工况波动问题，保证除雾器出口的颗粒物小于 $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。经实验测试，安装管束除雾器后，能确保排放口颗粒物浓度时刻达到超净排放标准，能很好地解决陶瓷行业烟气脱硫除尘能耗高、投资运行成本高等问题。管束除雾器流速调控装置布置如图 4、图 5 所示。

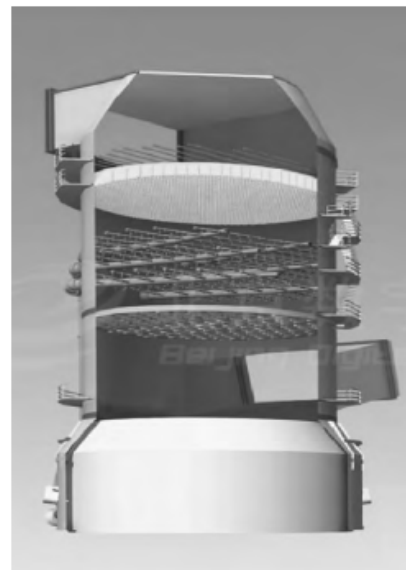
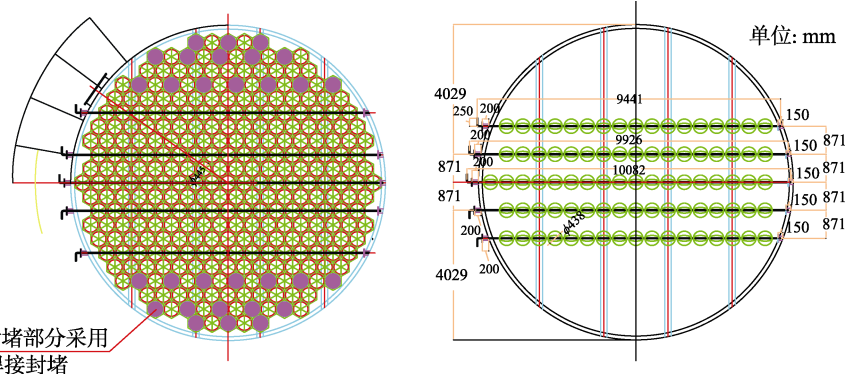


图 3 管束除雾器整体结构

Fig.3 Overall structure of tube bundle demister



阴影部分管束为封堵部分采用 PP 板直接与管束焊接封堵

图 4 流速调控装置布置平面图

Fig.4 Flow rate control device layout plan

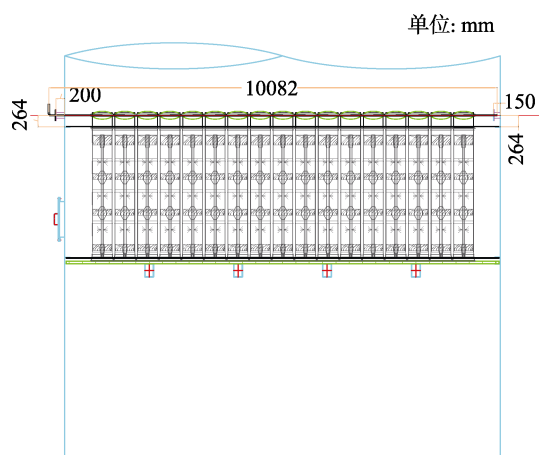


图5 流速调控装置布置立面图

Fig.5 Elevation plan of flow rate control device

3.4 与其他除雾器的对比研究

结构和控制方式改进后的管束除雾器和传统管束除尘器相比,能有效应对烟气量变化导致管束除雾器筒内流速达不到设计值而影响除雾脱尘效率的问题,也能代替平板除尘器和屋脊式除尘雾器,实现它们难以达到的“超净排放”标准(颗粒物浓度小于 5 mg/m^3)。相对初期投资大、运行费用高^[1-4]的湿式静电除雾器,有极大的成本优势。

3.5 运行维护要求

管束除雾器运行时要保证良好的除雾除尘效果,需注意以下几点:加长管束筒体的高度,确保过滤的烟气在筒体内流经的时间足够长,才能保证达到较好的脱除效果;对微细粒径的颗粒物和雾滴要达到好的脱除效果,必需选用高效的增速器和分离器;为有效的解决高速气流引起的二次夹带现象,合理选用导流环非常关键。

4 结语

管束除雾器流速调控装置结构经过创新设计后,在陶瓷行业的烟气脱硫除雾除尘中的应用,能有效解决由于烟气工况波动引起管束除雾器内部流速降低进而影响除雾效率的问题。实验结果验证了该流速调控装置的设计改进能确保管束除雾器单筒内的流速不低于设计值,可避免因喷雾塔开停导致工况烟气量波动而影响除雾器的效率。能够实现陶瓷企业颗粒物超净排放标准,同时降低企业在环保治理方面的一次性投资和运行费用,达到提高经济效益与保护环境的双赢局面。

参考文献:

[1] 赵洪庆. 一种湿法脱硫除雾器的研究及应用[D]. 山东: 山东大学, 2018.

- ZHAO Hong-qing. Study and application of a demister for wet desulfurization[D]. Shandong: Shandong University, 2018.
- [2] 吴春华, 秦绪华, 徐忠峰. 脱硫吸收塔除雾器堵塞防治对策[J]. 吉林电力, 2014, 42(1): 49-51.
WU Chun-hua, QIN Xu-hua, XU Zhong-feng. Prevention and cure countermeasure of demister clogging in desulfurizing absorption tower[J]. Jilin electric power, 2014, 42(1): 49-51.
- [3] 邱桂芝, 张志刚, 宋寅, 等. 管束式除雾器结构优化数值模拟及高效除雾器研制[J]. 中国电力, 2018, 51(5): 134-135.
QIU Gui-zhi, ZHANG Zhi-gang, SONG Yan et al. Numerical simulation of tube bundle demister structure optimization and development of high efficiency demister[J]. China power, 2018, 51(5): 134-135.
- [4] 黄逸, 梁汝俏. 管束式除雾器除雾特性数值模拟[J]. 科技创新, 2017(12): 6-8.
HUANG Yi, LIANG Ru-qiao. Numerical simulation of demisting characteristics of tube-bundle demister[J]. Scientific and technological innovation, 2017(12): 6-8.
- [5] 闫循英, 王峰. 管束式除尘器与湿式除尘器技术初探[J]. 绿色科技, 2016(20): 57-58.
YAN Xun-ying, WANG Feng. Preliminary study on tube-bundle dust collector and wet dust collector[J]. Journal of green science and technology, 2016(20): 57-58.
- [6] 郎鑫焱. 燃煤发电厂 SO_2 和粉尘超净排放改造工程技术方案的优化[J]. 安全与环境工程, 2018, 25(4): 83-88.
LANG Xin-yan. Optimization of technical scheme for renovation project of super-clean emission of SO_2 and dust in coal-fired power plant[J]. Safety and environmental engineering, 2018, 25(4): 83-88.
- [7] 刘莹, 王文祥, 李慧颖, 等. 草酸盐沉淀法制备钴氧化物超细粉末前驱体[J]. 湿法冶金, 2017, 36(2): 101-105.
LIU Ying, WANG Wen-xiang, LI Hui-ying, et al. Preparation of cobalt oxide ultrafine powder precursor by oxalate precipitation method[J]. Hydrometallurgy, 2017, 36(2): 101-105.
- [8] 叶茂友, 严苹方, 孙水裕, 等. 铜离子浓度对嗜酸性氧化亚铁硫杆菌生长特性和生长动力学的影响[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(10): 2238-2245.
YE Mao-you, YAN Ping-fang, SUN Shui-yu, et al. Effects of copper ion concentration on growth characteristics and kinetics of acidithiobacillus ferrous oxide[J]. The Chinese journal of nonferrous metals, 2016, 26(10): 2238-2245.
- [9] 李永胜, 王小亚, 李永兵. 烟气污染物超低排放技术在安庆电厂的应用[J]. 机电信息, 2017(18): 96-97.
LI Yong-sheng, WANG Xiao-ya, LI Yong-bing. Application of ultra-low emission technology of flue gas pollutants in Anqing power plant[J]. Electromechanical information, 2017(18): 96-97.
- [10] 孟建国, 安德盛, 孟庆庆. 超低排放改造技术路线解析[J]. 科技传播, 2016(4): 62-65.
MENG Jian-guo, AN De-shen, MENG Qing-qing. Analysis on technical route of ultra-low emission retrofit. Science and technology communication, 2016(4): 62-65.
- [11] 陈玮超. 丰润热电公司超低排放改造简介[J]. 能源与节能, 2016(8): 77-79.
CHEN Wei-chao. Brief introduction of the reconstruction of ultra-low emission in Fengrun thermal power company[J]. Energy and energy conservation, 2016(8): 77-79.