

浅析火电厂脱硫塔管式除雾器坍塌及改进措施

董吉柱

引用本文:

董吉柱. 浅析火电厂脱硫塔管式除雾器坍塌及改进措施[J]. 南方能源建设, 2022, 9(增刊1): 56–62.

DONG Jizhu. Analysis on the Collapse and Improvement Measures of Tubular Demister of Desulfurization Tower in Thermal Power Plant[J]. *Southern Energy Construction*, 2022, 9(增刊1): 56–62.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

火力发电厂高效脱硫及除尘一体化超洁净技术研究及应用

Research and Application on Integration of High-efficiency Desulfurization and Ultra-clean Dust Elimination Technology in Thermal Power Plant

南方能源建设. 2018, 5(z1): 29–36 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.006>

超大型机组湿法脱硫吸收塔喷淋系统设计优化

Design Optimization of Spray Bank in Large-scale Wet FGD Absorber

南方能源建设. 2015, 2(z1): 98–100,104 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.021>

硫化物推动短程硝化反硝化颗粒污泥处理脱硫脱硝尾液试验研究

Study on Sulfide-driven Shortcut Nitrification and Denitrification Granulation Sludge Treating Desulfurization and Denitrification Tailings from Thermal Power Plant

南方能源建设. 2020, 7(1): 65–69 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.010>

海上升压站主变压器冷却方式选择

Selection of Main Transformer Cooling System in Offshore Substation

南方能源建设. 2015(3): 91–94,100 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.018>

火电厂排放烟气白雾治理新方案及节能分析

New Scheme and Energy Saving Analysis of Flue Gas White Fog Treatment in Thermal Power Plant

南方能源建设. 2018, 5(4): 50–54 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.04.007>

浅析火电厂脱硫塔管式除雾器坍塌及改进措施

董吉柱[✉]

(深能合和电力(河源)有限公司, 广东河源 517000)

摘要: [目的] 除雾器是湿法脱硫系统中的重要设备, 一般安装在脱硫塔顶部用于捕集脱硫后烟气中夹带的石膏雾滴, 进而降低“石膏雨”现象发生概率, 减少“石膏雨”对周围设备设施和建筑物的损害, 同时有效祛除脱硫烟气中粉尘等颗粒物含量。[方法] 主要介绍屋脊式除雾器和仿水滴形管式除雾器的结构和特点, 并以实际案例分析火电厂管式除雾器坍塌原因并提出切实可行的改进措施, 同时积累技术经验, 以便于提高其使用的安全性和稳定性。[结果] 通过实际监测数据表明火电厂超低排放技术改造的优越性和先进性及更加广阔的应用前景和价值, 从而有效提升脱硫系统运行的可靠性。[结论] 为后续改造单位或者相关技术人员提供借鉴价值和研究方向, 从而有效保证相关技术改造的经济效益和社会效益。

关键词: 石膏雨; 屋脊式除雾器; 仿水滴形管式除雾器; 坍塌; 超低排放

中图分类号: TM611; X701.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S1-0056-07

开放科学(资源服务)二维码:



Analysis on the Collapse and Improvement Measures of Tubular Demister of Desulfurization Tower in Thermal Power Plant

DONG Jizhu[✉]

(Shenneng Hehe Electric Power (Heyuan) Co., Ltd., Heyuan 517000, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] Demister is an important equipment in wet desulfurization system. It is generally installed on the top of desulfurization tower to capture gypsum droplets entrained in flue gas after desulfurization, so as to reduce the probability of "gypsum rain" and reduce the damage of "gypsum rain" to surrounding equipment, facilities and buildings. [Methods] This paper mainly introduced the structure and characteristics of ridge mist eliminator and water droplet like tubular mist eliminator, analyzed the causes of collapse of tubular mist eliminator in thermal power plant with practical cases, put forward practical improvement measures, and accumulated technical experience, so as to improve its safety and stability. [Result] The actual monitoring data show that the technology of super low emission in thermal power plants has advantages and advanced nature, and has a wider application prospect and value, so as to effectively enhance the reliability of the desulfurization system. [Conclusion] Provide reference value and research direction for subsequent transformation units or relevant technicians, so as to effectively ensure the economic and social benefits of relevant technological transformation.

Key words: gypsum rain; ridge mist eliminator; water droplet like tubular demister; collapse; ultra low emission

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

广东河源电厂一期工程2×600 MW燃煤机组, 分别于2008年、2009年投产, 汽轮机为哈尔滨汽

轮机厂与三菱公司联合制造生产的CCLN600-25/600/600型600 MW超超临界单轴、两缸、两排汽、一次中间再热、凝汽式机组。锅炉为哈尔滨锅炉厂有限责任公司生产的超超临界参数变压运行直流锅

收稿日期: 2022-02-10 修回日期: 2022-03-15

基金项目: 河源电厂一期工程2×600 MW机组烟气超净排放技术改造项目(深圳能源集团公司审批文件号:GXGZSQ1201501080009)。

炉，采用Ⅱ型布置、单炉膛、改进型低NO_xPM主燃烧器和MACT型低NO_x分级送风燃烧系统、墙式切圆燃烧方式，一次中间再热。同步建设烟气脱硫装置，吸收塔采用喷淋塔，均选用石灰石-石膏湿法脱硫工艺、一炉一塔配置、无脱硫旁路、有回转式GGH，每个脱硫塔配置三台沃曼GSY700型浆液循环泵，无备用循环泵，三层标准型喷淋层，无托盘，在燃用设计煤种（Star=1.0%），锅炉BMCR工况下脱硫效率按不小于95%设计。燃用含硫量1.2%的煤种时，脱硫效率不小于90%。除雾器选用蒙特空气处理设备（北京）有限公司生产的两层屋脊式除雾器，除雾器后方烟气雾滴携带量为75 mg/Nm³。

随着人们对环境问题越来越重视，对于电厂环保设备的运行状况势必越来越严格，对于环保设施的运行监管也会越来越严。为了响应国家节能减排号召，按照深能集团公司的部署和安排，河源电厂在2015年10月对2号机组实施了节能技术改造及环保超低排放技术改造，提高机组运行的经济性，达到节能效果，同时使经改造后烟气中的主要污染物排放浓度达到燃气轮机组的排放标准。燃煤机组超低排放是指通过多污染物高效控制技术，燃煤机组达到《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223—2011）中燃气轮机排放限制标准，即在标态，干基，含氧量为6%条件下：烟尘排放浓度不高于5 mg/m³、二氧化硫排放浓度不高于35 mg/m³、氮氧化物排放浓度不高于50 mg/m³ [1]。#2机组进行烟气超低排放技术改造中脱硫塔进行提效改造分项工作，即在脱硫塔烟气出口顶部和原屋脊式除雾器下部之间增设均流板，通过提升传质效率的方式来提升脱硫效率，实现运行过程中能耗节约，同时将第三层喷淋层更换为交互式喷淋层，增加一台浆液循环泵，使得二氧化硫排放浓度低于35 mg/m³。为保证烟尘排放标准要求，经过多方案遴选，需对原除雾器进行优化改造，即在吸收塔原屋脊式除雾器下部增设一层管式除雾器，最大程度降低吸收塔出口液滴含量，以期实现烟气雾滴携带量达到40 mg/Nm³以下，还可降低雾滴含量对出口粉尘的贡献，这将提高脱硫装置综合除尘效率 [2]。

除雾要求的提高也为除雾器的创新发展带来了促进作用，进而使除雾器出口雾滴含量得以大幅度的降低，对实现燃煤电厂超低排放起到了积极作

用 [3]。本文主要介绍屋脊式除雾器和V型仿水滴形管式除雾器的结构特点、工作原理，并重点针对其在燃煤电厂的实际应用案例中出现的问题进行分析，提出有效可行的改进措施，为V型仿水滴形管式除雾器技术的探索者提供一定的参考意义和借鉴价值。

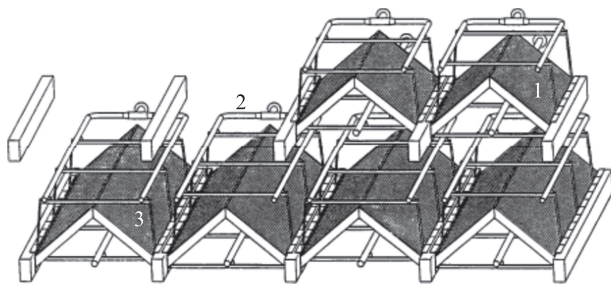
1 除雾器简介

除雾器是利用雾滴的惯性撞击作用，雾滴与波纹板叶片（或管式组件）相撞而附着在波纹板叶片（或管式组件）表面，由于转向的离心力及其与波纹板叶片（或管式组件）的摩擦作用、吸附作用和液体表面张力使得液滴不断凝聚增大，直到聚集的液滴自身重力大于气体的上升力与液体表面张力的合力时，液滴就从波纹板叶片（或管式组件）上分离下来，从而实现除雾效果 [4]。

除雾器是湿法脱硫系统中的关键设备，布置于吸收塔顶部，是脱硫除尘体系中烟尘和雾滴排放的最终把关技术手段 [5]，其性能好坏直接影响到湿法洗涤烟气脱硫系统能否连续可靠运行。除雾器故障不仅会造成脱硫系统的停运，严重时可能导致整个机组停机。因此，科学合理的设计、使用除雾器对保证湿法洗涤烟气脱硫系统的正常运行具有非常重要的意义 [6]。广东河源电厂#2机组超低排放技术改造中脱硫塔提效改造时，在施工改造预期成果、安全性、经济性等多方面综合多方案比较，最终选择在原屋脊式除雾器下面增设一层管式除雾器，以达到允许烟气最高流速达到7.5 m/s左右、除雾器后方雾滴含量≤40 mg/Nm³、通过除雾器的极限雾滴粒径降至15 μm及以下的预期效果。

1.1 屋脊式除雾器简介

广东河源电厂一期工程脱硫塔用瑞典MUNTERS EUROFORM屋脊式除雾器安装在脱硫塔的顶部，屋脊式除雾器结构形式类似房屋尖顶形状，其布置示意图如图1所示。屋脊式除雾器分粗除雾层和精除雾层两级，每一级分成几排，每一排具有不同数量的组件，除雾器组件安装在一起并在每一排的端部密封，除雾器组件的钢支撑梁可以在检查时用作行走通道。两级除雾器均为PPTV材质（PP加滑石粉），冲洗水管、喷嘴、其他配件等均为PP材质，外部连接件为热镀锌碳钢，垫片为EPDM材质。



注：1-精除雾器；2-冲洗水管道；3-粗除雾器。

图1 屋脊式除雾器布置示意图

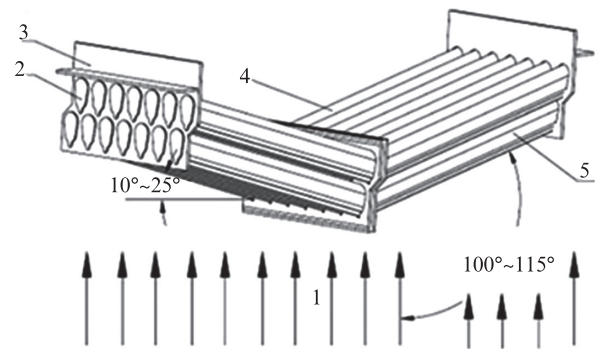
Fig. 1 Layout diagram of ridge demister

屋脊式除雾器适用于垂直向上或水平气流的叶片除雾、气液分离，当烟气及雾滴在正弦曲面的叶片以及中流动，与叶片壁面产生连续性碰撞，雾滴动能逐渐消失，雾滴失去速度后与烟气分离，最后滞留在叶片表面，随着多个雾滴重复上述过程，叶片表面的雾滴颗粒直径逐渐增大，由于叶片的表面是光滑的，那么雾滴由于重力的作用将沿着叶片表面向下滑掉进浆液池^[7]。屋脊式除雾器具有布置结构紧凑，较平板式除雾器可有效降低吸收塔高度1.5~2.0 m；水冲洗系统被完美地整合进除雾器，且水冲洗效果优异，不易发生叶片堵塞；具有更高的临界速度，可有效降低吸收塔直径；除雾器组件拆装方便，更加有利于维护和检修，降低系统建造成本和后期维护人员工作强度。

1.2 管式除雾器简介

广东河源电厂#2机组超低排放技术改造中脱硫提效项目所选用的管式除雾器为德国RPT上海公司生产的V型仿水滴形管式除雾器（以下简称：管式除雾器），该管式除雾器包括两层平行的仿水滴形管排，而仿水滴形管排包括多组均匀排列的截面为水滴形的管子，两根管子一段在中间连接，形成V字形，另一端分别固定在支撑板上，仿水滴形管排的轴线和水平线夹角 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，烟气流方向管子的轴线方向夹角 $100^{\circ} \sim 115^{\circ}$ ^[8]，其材质为增强型聚丙烯（PPTV），相关备件连接处多为塑料焊丝焊接，其结构示意图如图2所示。该管式除雾器主要用于祛除大颗粒液滴，同时能够有效的分布气流，从而给后级的除雾器尽可能地降低工作负荷和堵塞的危险。由于气流分布状态的改善，从而允许更高气流通过，间接增加了除雾器的效率^[9]。

广东河源电厂#2机组脱硫塔提效改造时，将该管式除雾器安装在屋脊式除雾器下层，其布置示意

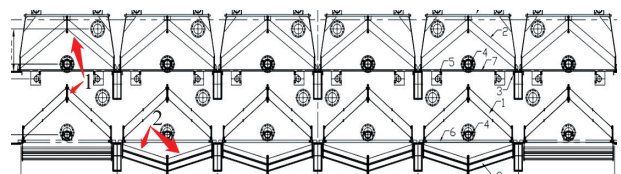


注：1-烟气；2-仿水滴形管子；3-支撑板；4-V型仿水滴形管式除雾器；5-仿水滴形管排

图2 V型仿水滴形管式除雾器结构示意图

Fig. 2 Structural diagram of V-shaped water droplet like tubular demister

图如图3所示，由于该管式除雾器管子形状为仿水滴形，其独特的仿水滴形管楔形向下布置可以减少迎风面的阻力，且楔形尖可引导水膜快速滴下，不易结垢。绕过仿水滴形管侧面的流体将减少了分离损失，减小了部分的流动阻力。而当水滴管去雾装置的上、下层管排错位时，可增加拦截雾滴的面积，提高去雾效果，既能有效的改善除雾器的堵塞问题，又能起到均布烟气的作用。管式除雾器V型仿水滴管排底部到屋脊式除雾器的粗除雾器顶部安装距离为1 504 mm，该安装距离满足烟气携带浆液掉落过程需要的最小距离，可保证屋脊式除雾器中粗除雾器作用后的雾滴不附着在管式除雾器上。



注：1-2层屋脊式除雾器；2-1层V型仿水滴形管式除雾器。

图3 #2机组脱硫塔提效改造除雾器布置示意图

Fig. 3 #Layout diagram of demister for desulfurization tower efficiency improvement transformation of unit 2

1.3 屋脊式除雾器与管式除雾器费用对比

屋脊式除雾器安装于2008—2009年，备件采购和安装费用约330万元/台（套）；屋脊式除雾器喷嘴更换周期约5年/次，费用约3.5万元；屋脊式除雾器解体冲洗周期约10年/次，费用约15万元/台（套）；屋脊式除雾器冲洗水管道及附属设施维护费2万元/年。管式除雾器安装于2015—2016年，设备

采购和安装费用约30万元/台(套),设计使用寿命30年,设计使用寿命期内免维护。

2 设备缺陷概述

2016年8月17日, #2机组临修检查发现#2脱硫塔新增管式除雾器约2/3面积坍塌,进一步检查发现管式除雾器内部仿水滴形管排和下端板处焊缝存在不同程度的拉坏现象,个别下端板间隙内已被浆液凝固堆满,固化的浆液将下端板胀压变形,实物图如图4~图5所示;大部分仿水滴形管子内部均有不同程度的浆液固化沉积,局部仿水滴形管子端部密封盖存在脱焊、缺失等现象,实物图如图6所示;固定管式除雾器组件的支撑板存在不同程度的变形,且固定板的尺寸略有差异,管式除雾器组件支撑梁(塑料外护板+碳钢支架)内部已锈蚀,且大部分支撑梁外护塑料壳体已破损或端盖密封已脱开,实物图如图7所示。



图4 管式除雾器管排与下端板焊缝拉坏

Fig. 4 The weld between the pipe row of the tubular demister and the lower end plate is damaged



图5 管式除雾器下端板内积浆变形

Fig. 5 Slurry accumulation and deformation in the lower plate of tubular demister



图6 管式除雾器管子内部存在固化浆液

Fig. 6 There is solidified slurry inside the pipe of tubular demister



图7 管式除雾器支撑梁保护壳破损内部锈蚀

Fig. 7 The protective shell of the support beam of the tubular demister is damaged and rusted inside

综上所述,若保持该管式除雾器现状继续运行,不仅该除雾器达不到设计效果,而且存在继续坍塌的风险,甚至可能损坏喷淋层喷嘴或管道,进而影响脱硫塔的脱硫效率,严重时可能影响环保指标和机组稳定运行。鉴于#2机组临停前脱硫系统相关参数未见明显异常,且该除雾器大部分已损坏,拆除及恢复工作量大、施工工期长,考虑到临修工期短,为保证机组按要时间投入备用状态,只能暂时将该管式除雾器全部拆除,待满足条件时再进行恢复使用。

3 管式除雾器坍塌原因分析

1) 管式除雾器模块靠自重搁置在除雾器钢梁底部,且底部与上层交互式喷淋母管中心距为512 mm,烟气经过喷淋母管后的尾部扰流对模块底部存在较大的扰动,导致模块存在较大振动,致使模块上的仿水滴形管和上下端板之间的焊缝发生脱开现象。

2) 管式除雾器仿水滴形管和上下端盖之间的

焊缝脱开产生缝隙后,导致管子内部漏进浆液。浆液积聚在仿水滴形管底部后的重量超过焊缝许用应力,造成仿水滴形管和下端板之间的焊缝被拉坏^[10],最终发生仿水滴形管脱落的情况。

3) 管式除雾器仿水滴形管的密封端盖为镶嵌式端盖,管式除雾器仿水滴形管与端盖、管式除雾器仿水滴形管与下端板等位置均采用热熔焊接,但局部焊缝存在未焊、未焊透等情况,致使其焊接强度大幅度下降^[11],未能达到预期设计效果。

4) 管式除雾器V型连接下端板处的缝隙过大,烟气经过时局部烟气流速过大,烟气中夹带大量石膏浆液得不到有效分离^[12],带有石膏浆液的气流及除雾器冲洗水滤液同时进入缝隙中沉积,形成恶性循环,管式除雾器仿水滴形管内及管式除雾器仿水滴形管排下端板连接缝隙处不断的积聚浆液,造成V型下端板连接处分离,直至进一步垮塌。

5) 管式除雾器仿水滴形管与端盖、管式除雾器仿水滴形管与下端板等部件间的热膨胀系数可能不满足现场实际工况需求。

6) 管式除雾器支撑梁的塑料外壳强度不足,且其端盖亦使用镶嵌式密封,致使其内部碳钢支撑梁已存在不同程度的锈蚀,存在随时坍塌的隐患。

7) 管式除雾器仿水滴形管排两端支撑板结构强度不足,在V型结构的下端板中部因浆液积聚受力后变形,引起管式除雾器模块组件分离坍塌。

8) 受吸收塔浆液氧化不足、粉尘和氨逃逸量超标、浆液pH值异常、除雾器冲洗水效果不佳等因素影响,导致烟气中的固体微粒不断增加,逐步粘结在管式除雾器仿水滴形管排内外,形成潜在安全隐患^[13]。

4 管式除雾器改进措施

1) 热熔焊接工艺有待加强,尤其是要保证焊件必须满焊、焊透,确保焊缝质量满足要求。同时厂家(RPT)在工厂内检查管式除雾器模块上的各个焊缝,确保焊缝质量达到设计要求。管式除雾器仿水滴形管子与端部密封盖密封方式尽量避免单纯使用镶嵌式,可使用热熔焊丝或其他方式进行加固,以保证其密封性能和使用强度。

2) 在每个管式除雾器模块的上端板外侧增加限位角形件(PP材质,长300 mm,角形件上需设

置至少2块筋板),限位角钢与上端板用螺栓连接。通过限位角钢顶住除雾器钢梁底面,限位角形件安装示意图如图8所示,实现管式除雾器模块的固定。

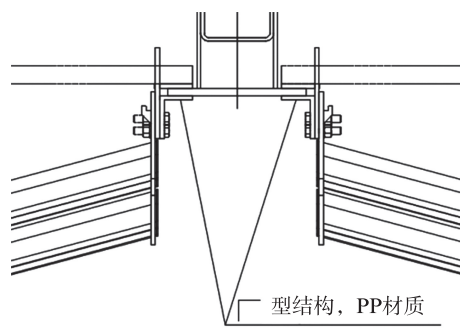
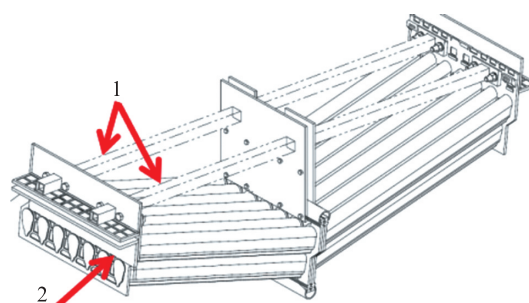


图8 限位角形件安装示意图

Fig. 8 Installation diagram of limit angle

3) PP限位角形件规格为130 mm × 130 mm × 8 mm,筋板厚度为8 mm;方管支撑梁材质为碳钢,规格为40 mm × 40 mm × 3.5 mm,外包塑层厚度3.5 mm;PP吊挂板厚度为8 mm;仿水滴形管壁厚厚度≥2.5 mm。

4) 每个管式除雾器模块上的方管支撑梁增加为2根,并在方管支撑梁上增加吊挂板将下端板和方管支撑梁连接在一起,吊挂板安装示意图如图9所示,确保下端板不会单独发生位移;同时采用支架或吊丝等形式,对该除雾器中易变形的位置进行加固。



注: 1-2根方管支撑梁; 2-PP角形件。

图9 吊挂板安装示意图

Fig. 9 Installation diagram of hanging plate

5) 支撑梁的保护套尽量做成整体的,避免使用镶嵌式等易脱落的保护形式,防止其腐蚀,提高其使用寿命;尽量减少模块固定板之间的设计间隙,防止其内部过多积浆,减少事故隐患。

6) 应充分分析所用设备的材料特性,重新

核算管道元件的膨胀系数，以满足现场的使用工况。

7) 可采用增加厚度或宽度等形式加强支撑板的结构强度，以保证设备的安全运。

8) 加强运行操作时各指标的实时控制，确保吸收塔浆液氧化程度、粉尘和氨逃逸量、浆液 pH 值、除雾器冲洗水质和效果满足运行使用要求。

5 结 论

通过以上改进措施，原坍塌管式除雾器于2017年2月份已恢复使用，截至目前，整体运行情况良好，无明显变形及显著安全隐患存在。广东河源电厂#2机组超低排放技术改造后由国网湖南省电力公司电力科学研究院配合进行性能验收，相关数据如表1。

表1 广东河源电厂#2机组超低排放技改性能试验记录表
Tab.1 Performance test record of ultra low emission technical transformation of Guangdong Heyuan power plant #2 unit

项目名称(mg/m ³ ,标态,6% O ₂)	超低排放限值/ (mg·m ⁻³)	实测数据/ (mg·m ⁻³)
额定工况 NO _x 排放浓度	<50	27.5
额定工况 SO ₂ 排放浓度	<35	23
额定工况粉尘排放浓度	<5	2.62
额定工况脱硫效率(含硫量1.08%)	>98.77%	98.8%
脱硫塔出口雾滴浓度(冷凝法)	<40	39.91

综上所述，燃煤电厂超低排放技术改造工程是我国电力行业积极响应国家和社会对于环境保护工作的高标准、严要求，坚决履行企业社会责任的重要举措^[14]。广东河源电厂#2机组超低排放技术改造后，设计的目标排放值不仅满足国家标准规定的重点地区特别排放限值的要求，并且在粉尘排放指标上优于燃气轮机机组大气污染物排放控制水平。而除雾器作为锅炉烟气排放净化系统中非常重要的一环，发挥的作用也越来越大，不仅其性能直接影响着最终的烟尘排放浓度，而且其能否安全稳定运行对整个机组至关重要^[15]。管式除雾器不仅具有初期投资成本较低，基本不产生后续运行维护费用的优势，而且还具有施工工期短，安装占用空间少等特点，是一种高效的除尘除雾装置，是较为先进的超低排放技术，可有效祛除烟气中的粉尘和雾滴^[16]。但为保证使用过程能达预期效果、消除潜

在安全隐患，电厂用户应充分论证、慎重选型，基于本案例的基础上选择适宜的管式除雾器，充分控制烟气携带的固体颗粒物含量和雾滴含量，确保烟尘的超低排放，同时为后续改造单位或者相关技术人员提供借鉴意义和研究方向，从而有效保证相关技术改造的经济效益和社会效益，为中国的碧水蓝天略尽一份绵薄之力。

参考文献：

- [1] 刘海龙,蔡向东. 管束式除尘装置与湿式静电除尘装置在电厂的应用分析 [J]. 华北电力技术, 2017(9): 65-70. DOI: 10.16308/j.cnki.issn1003-9171.2017.09.011.
LIU H L, CAI X D. Application analysis of tubular precipitator and wet electrostatic precipitator in power plant [J]. North China Electric Power, 2017(9): 65-70. DOI: 10.16308/j.cnki.issn1003-9171.2017.09.011.
- [2] 魏宏鸽,叶伟平,柴磊,等. 湿法脱硫系统除尘效果分析与提高效率措施 [J]. 中国电力, 2015, 48(8): 33-36.
WEI H G, YE W P, CHAI L, et al. Analysis of dust removal effect in wet-FGD system and its efficiency enhancement techniques [J]. Electric Power, 2015, 48(8): 33-36.
- [3] 吴其荣,喻江涛,周川雄,等. 燃煤电厂除雾器技术的应用与发展趋势分析 [J]. 四川环境, 2018, 37(5): 125-130. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5167.2017.29.082.
WU Q R, YU J T, ZHOU C X, et al. Analysis on application and development trend of mist eliminator technology in power plants [J]. Sichuan Environment, 2018, 37(5): 125-130. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5167.2017.29.082.
- [4] 沈海涛. 湿法脱硫系统吸收塔除雾器改造分析及应用 [J]. 能源工程, 2013(6): 61-63. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3950.2013.06.011.
SHEN H T. Analysis and application of absorber mist eliminator renovation of the WFGD system [J]. Energy Engineering, 2013(6): 61-63. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3950.2013.06.011.
- [5] 李宇翔,胡满深,郭彪,等. 管束式除尘除雾器在工业锅炉超低排放中的应用 [J]. 中国环保产业, 2021(1): 49-52. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5377.2021.01.010.
LI Y X, HU M S, GUO B, et al. Application of tube-bundle dust-collecting demister in ultra-low emissions of industrial boiler [J]. China Environmental Protection Industry, 2021(1): 49-52. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5377.2021.01.010.
- [6] 杨柳,王世和,王小明. 脱硫除雾器除雾特性的研究 [J]. 动力工程, 2005(2): 289-292. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7607.2005.02.030.
YANG L, WANG S H, WANG X M. Study on characteristics of a sulfur removal demister [J]. Chinese Journal of Power Engineering, 2005(2): 289-292. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7607.2005.02.030.

- [7] 张美霞. 关于屋顶菱形管式除雾器的设计探讨 [J]. 科学技术创新, 2021(3): 148-150. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-1328. 2021. 03. 068.
ZHANG M X. Discussion on the design of diamond shaped pipedemister on roof [J]. Scientific and Technological Innovation Information, 2021(3): 148-150. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-1328. 2021. 03. 068.
- [8] 康明. V型仿水滴形管式除雾器及除雾装置: CN202155113U [P]. 2012-03-07.
TANG M. V - type water droplet tube mist eliminator and mist eliminator: CN202155113U [P]. 2012-03-07.
- [9] 郑寅飞. 湿法烟气脱硫除雾器的应用研究及展望 [J]. 科技展望, 2016, 26(1): 121-122. DOI:10. 3969/j. issn. 1672-8289. 2016. 01. 104.
ZHENG Y F. Application research and prospect of wet flue gas desulfurization demister [J]. Technology Outlook, 2016, 26(1): 121-122. DOI:10. 3969/j. issn. 1672-8289. 2016. 01. 104.
- [10] 耿林光. 脱硫系统除雾器的应用及问题分析 [J]. 科技风, 2015 (2):139. DOI:10. 3969/j. issn. 1671-7341. 2015. 02. 123.
GENG L G. Application and problem analysis of demister in desulfurization system [J]. Technology Wind, 2015(2): 139. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-7341. 2015. 02. 123.
- [11] 王敏琪, 王晨辉. 湿法脱硫系统中除雾器的升级改造实践 [J]. 浙江电力, 2014, 33(11): 23-26. DOI: 10. 3969/j. issn. 1007-1881. 2014. 11. 006.
WANG M Q, WANG C H. Practice of demister upgrade and reconstruction in wet flue gas desulphurization system [J]. Zhejiang Electric Power, 2014, 33(11): 23-26. DOI: 10. 3969/j. issn. 1007-1881. 2014. 11. 006.
- [12] 党龙, 张晓玲, 王智, 等. 湿法脱硫系统除雾器结垢分析及预防措施 [J]. 发电与空调, 2017, 38(1): 30-34. DOI:10. 3969/J. ISSN. 2095-3429. 2017. 01.
DANG L, ZHANG X L, WANG Z, et al. Analysis and preventive measures for scaling in mist eliminator of WFGD system [J]. Refrigeration Air Conditioning & Electric Power Machinery, 2017, 38(1): 30-34. DOI: 10. 3969/J. ISSN. 2095-3429. 2017. 01.
- [13] 刘川红. 湿法脱硫除雾器故障分析及预防 [J]. 大科技, 2019 (31): 252-253.
LIU C H. Failure analysis and prevention of wet desulfurization demister [J]. Super Science, 2019(31): 252-253.
- [14] 李润平, 王凤阳, 杨志勇, 等. 基于高效除雾器的燃煤电厂颗粒物超低排放 [J]. 洁净煤技术, 2018, 24(5): 136-141. DOI: 10. 13226/j. issn. 1006-6772. 18042701.
LI R P, WANG F Y, YANG Z Y, et al. High-efficiency demister to realize ultra-low emission of particulate matters in coal-fired power plant [J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(5): 136-141. DOI:10. 13226/j. issn. 1006-6772. 18042701.
- [15] 温卿云, 谢倩, 杨西茜, 等. 燃煤电厂脱硫除尘超低排放改造措施探讨 [J]. 环保科技, 2017, 23(5): 6-10. DOI:10. 3969/j. issn. 1674-0254. 2017. 05. 002.
WEN Q Y, XIE Q, YANG X Q, et al. The discussion of ultra-low emissions reform measures for coal-fired power plant desulfurization and dedusting [J]. Environmental Protection and Technology, 2017, 23(5): 6-10. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-0254. 2017. 05. 002.
- [16] 佟文卓, 王瑞民. 管束式除尘器在电厂锅炉粉尘超低排放中的应用 [J]. 神华科技, 2019, 17(8): 90-93. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-8492. 2019. 08. 025.
TONG W Z, WANG R M. Application of tube bundle type dust-collector in ultra-low emission of boiler dust in power plant [J]. Northwest Coal, 2019, 17(8): 90-93. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-8492. 2019. 08. 025.

作者简介:



董吉柱

董吉柱 (通信作者)

1990-, 男, 辽宁朝阳人, 工程师, 一级建造师、注册监理工程师、注册安全工程师, 大连理工大学电气工程及其自动化专业, 主要从事脱硫系统、脱硫废水系统、锅炉辅机系统相关设备的检修、维护、技术改造和设备管理工作 (e-mail) LNdongjizhu2012@163.com。

(责任编辑 李辉)