

管束式除尘除雾器在湿法脱硫除尘排放的应用

陈四宝

国家电投集团远达环保工程有限公司 重庆 401122

【摘要】：分析湿法脱硫后管束式除尘器在除尘一体化技术中的应用，通过原理分析和实际案例应用，可以有效控制管束式除尘器的烟尘排放，吸收塔出口小于 $2.5\text{--}3\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，达到超净排放要求。具有除尘效率高、无电耗等优点，进一步优化了脱硫除尘超低排放技术，系统稳定性更好。

【关键词】：超净脱硫；高效旋汇耦合脱硫装置；除尘效率；吸收塔；脱硫

引言

尽管我国二、三产业发展迅速，人均收入显著提高，但在经济发展过程中消耗了大量能源，能源需求不断扩大。目前，石灰石-石膏湿法脱硫工艺占国内外烟气脱硫工艺的80%以上，技术成熟，适用煤种广泛，脱硫效率高（可达90%以上）、安全可靠、能耗低。考虑到烟气处理系统向常规方法转换存在的问题，高效脱硫工艺的本质区别在于除尘器深度去除（除雾）的除尘器的选择。脱硫后的烟气 $\leq 35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。由于超低排放脱硫除尘技术一般是脱硫除尘的结合，在此对除尘技术进行了介绍，并阐述了脱硫技术。

1 影响超低排放技术的主要因素

在脱硫装置的清洁烟气中，石膏浆主要来自吸收塔喷淋中喷嘴雾化的小液滴。石膏浆经喷嘴喷出后，液滴直径通常为 $2000\mu\text{m}$ 左右，撞击后形成部分直径约 $15\mu\text{m}$ 的液滴。雾滴通过除雾器后，如果除雾器内烟气流量不均匀，除雾器设置不当，冲洗不到位，必然导致石膏雨的发生，以及影响周围环境，使得烟囱和灰尘的指标高。

1.1 选择合适的吸收塔流速

一般情况下，机组运行一段时间后，系统漏风率增大，锅炉效率也会降低，导致煤炭消耗增加或烟气温度升高导致脱硫。装置入口处烟气流量的增加，会增加吸收塔中的烟气流速，综合考虑了所有因素，预留足够气雾，吸收塔出口烟气中液滴浓度的产生由烟气流速控制。

1.2 脱硫改造

包含单塔一体化脱硫除尘化工技术、单塔双区高效脱硫除尘技术、双塔板技术、高效梯度级组合脱硫塔技术、双塔双循环技术等工艺流程。其中，单柱一体化脱硫粉尘深度净化技术的应用取得了良好的效果。同时，各吸收塔内二氧化硫浓度不超过 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ，含尘量低于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，脱硫效率达99%以上，除尘效率可达90%以上。单塔双区高效脱硫除尘技术属于与双塔双循环技术同目的的两种脱硫方法。高效梯度级复合脱硫塔技术具有超低技术，适应性更广。

1.3 选择合适的除雾器形式

除雾器包括管式除雾器+回路式除雾器、三级高效除雾器、管束式除雾器。除雾器的除尘效果不同，洗涤水量也不同。

1.4 浆液密度控制

在控制合适的浆液密度使石膏能够顺利结晶的同时，由于浓度高，粘度太高，粘在除雾器和喷雾层上。此外，在吸收塔内安装气体平衡装置，防止吸收塔出口烟气中液滴浓度过高，有益补充。

2 两种高效脱硫除尘超低排放技术

2.1 旋汇耦合脱硫+管束式除尘器技术

该技术只需要利用原有的吸收塔空间进行转换，无需改变吸收塔的外部结构。系统稳定可靠，维修安装周期短，施工难度低，可在3周内完成装修。此外，适应范围广，转换简单，对投标单位的客观要求很少。最大的优点是投资小，效率高。其运行阻力低、无额外运行成本、场地占用和投资比传统技术少，解决了旧有电厂改造面临的挑战。

2.1.2 工作原理

旋汇耦合器基于使用气体动力学的多相紊流掺混的强大传质机制。其原理是创造一个湍流空间，通过一个特殊的涡流耦合装置气体和液体在其中旋转，固液气三相充分接触，降低了气液膜的传质阻力，提高传质速率，达到提高脱硫效率的目的，快速完成传质过程。相比空塔喷淋技术，该技术具有防堵、易维护的优点外，还具有气体转速高、脱硫效率高、除尘效率高等优点。

2.1.3 工作特点

吸收塔内气体分布不均匀是造成脱硫效率低、运行成本高的主要原因，配备旋流耦合器的脱硫塔，比一般空塔可提高气体均质15-30%的效果。比较脱硫装置，实现经济可靠的运行。烟气脱硫的工作机理是 SO_2 从气相到液相的相间传质过程，传质速率是决定脱硫效率的关键指标。经过多年反复试验，应用表明获得了各种环境和技术条件下的技术参数，并根据试验获得的参数，研制生产了增加液气接触面积、改善气体的关键设备，以增加液体传质效率的目的。从旋流耦合器端面进入的烟气通过旋流和合流的组合，进行旋转，形成具有大湍流的气液传质系统，运行参数趋于最优。

2.1.4 实际应用

此技术已经在大唐国际云冈热电厂3#机组320MW机组烟气脱硫改造工程进行了实际应用。大唐国际云冈热电厂3#机组320MW机组烟气脱硫改造工程的主要改造内容包括：增加1层喷淋层，由变频循环泵根据烟气流量和 SO_2 浓度调整喷淋强度。拆除原有旧式湍流器，更换为二代新式湍流。拆除原有除雾器，冲洗水2~4层；更换管束式除尘装置，利旧原有第2层冲洗水管路。

表1 改造前后指标对比

机组状态	烟气流 量	SO_2 浓 度	脱硫效 率	喷淋量	烟尘含 量
改造前	1112500	2952	94.23	3*5500	50
改造后	1030000	2842	97.21	5600+55%变 频	2.63-5.00

2.2 烟气高效脱硫协同除尘技术改造

2.2.1 高效喷淋系统

当液气比一定时，吸收塔喷雾床喷嘴产生的液滴直径越小，液滴总表面积越大，液滴与液滴 SO_2 和粉尘之间的接触面积越大，脱硫除尘效率更高。在一定液气比条件下，双向喷嘴的脱硫除尘效率高于单头喷嘴的脱硫除尘效率。高效喷雾双头喷嘴，雾化性能好，喷雾效率高。喷雾覆盖率从200%增加到300%，不仅可以增加气液两相的接触面积，而且由于速度场偏差小于10%，可以促进烟气分布均匀，提高烟气脱硫除尘效率。空心双头喷嘴设置在喷雾塔中靠近中心轴线的位置，靠近吸收塔壁的喷雾管设置为实心双头喷嘴，可以在除尘的同时避免“趋壁效应”。

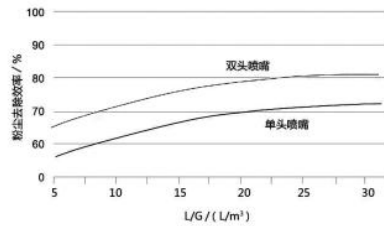


图1 除尘后效率曲线

2.2.2 双层合金托盘技术

使用的合金托盘是通流式筛板，筛板上充满均匀的网格。吸收浆料在筛板上形成一定厚度的浆料液层。当烟气向后通过筛孔时，烟气被筛板分成细小的气流，均匀分布在吸收塔的整个横截面上，形成气液接触面。筛板的气液接触面还可以去除烟气中的细小颗粒、小尘埃。合理的机身流量确保强大的除尘能力。设置在筛板下方，防止石膏浆在筛板底部结垢，定期冲洗水管和喷嘴并清洁熔块。过筛盘盘式结构简单，可降低液气比，节省脱硫装置能耗，可有效延长气液接触时间，同时均匀分布烟气流场，增强气液两相传质，用于高效脱硫和除尘。

2.2.3 设置高效增效环，防止趋壁效应

当吸收塔内 SO_2 浓度表现为吸收塔断面分布不均，中低两侧高的情况。由于吸收塔中心浆液的高喷雾密度而产生阻力，吸收塔内壁附近的浆液喷雾密度低，烟气通过抽吸塔。当液体喷入塔内时，自动趋向于吸收塔内壁阻力低的区域流动，这导致液气比在吸收塔的整个横截面上分布不均匀，脱硫除尘效率下降。当浆液喷洒在吸收塔内壁时，液膜随着吸收塔内壁向下流动，一部分气液接触面的传质作用不同。由于部分烟气流接触时间短，烟气沿吸收塔移动，墙体“逃逸”现象，影响脱硫效率。靠近吸收塔内壁的废气被驱入吸收塔中间区域，可以避免烟气的“趋壁效应”，减少浆液对吸收塔内壁的影响，以防止烟气短路。增加烟气与液滴的接触，提高脱硫、除尘效率。增加高效协同环后，吸收塔内 SO_2 浓度分布均匀。

2.2.4 高效凝并式除雾器

常用的除雾器对细粉尘的捕集效率有限，不能去除烟气中粒径 $< 15\mu\text{m}$ 的液滴。因此采取冷凝除雾器，冷凝除雾器由一个三级液滴收集器和一个流通盘组成。托盘稀释石膏液滴，使液滴的固含量从 10% 降低到 2%，粉尘粒径在 $3\mu\text{m}$ 以下。烟气通过第一级液滴收集器并去除大液滴。当它们进入通过筛盘时，通过筛盘置换稀释烟雾携带的石膏液滴，同时捕获细粉尘。为防止穿透筛盘底部的石膏浆结垢，在盘底安装冲洗水管和喷嘴，定期冲洗盘。

3 管束式除尘器对比分析

3.1 管束式除尘器

现有屋脊除雾器由于收集原理的限制，难以收集粒径小于 $15\mu\text{m}$ 的细小雾滴，采用该除尘除雾器技术不仅存在一次性投资大、运行成本高等问题，而且占地大。

管束式除尘器特点及优势：塔内构件布置简单，工程量少，投资少，运行成本低。该技术通过改变吸收塔的部件，完成脱硫除尘一体

参考文献：

- [1] 王会平, 石天琪, 钟建清. 管束式除尘除雾器在湿法脱硫除尘排放的应用[J]. 设备管理与维修, 2021(23):23-24.
- [2] 张增利, 操斌, 刘天福. 燃煤电厂烟气超低排放改造及运行总结[J]. 中国氯碱, 2021(02):36-38.
- [3] 林欢. 烟气高效脱硫协同除尘技术[J]. 中国环保产业, 2019(05):30-33.
- [4] 黄俊. 脱硫超低排放技术在电厂中的应用探讨[J]. 科技创新与应用, 2017(02):130.

化。投资成本比现有技术降低 30-50%，离心管束除尘器不耗电，阻力与除雾器相同，系统稳定可靠。对烟气污染物含量和负荷波动的适应性强，操作方便，可靠性高。目前，运营项目已达到 100% 的调试率。单塔一体化脱硫除尘深度净化技术具有投资少、占地少、维修周期短、脱硫效率高、除尘效率高等优点，无移动设备，无电气设备，运行维护简单，已成为工业烟气脱硫除尘的首选技术。

管束式除尘器除尘机理：管束除尘器的工作原理可以简单地用煤灰颗粒和液滴的凝聚、收集和消散三种运动状态来描述，去除烟气中所含的液滴和粉尘颗粒。凝固是指大量细小的液滴和颗粒在高速运动条件下大大增加了碰撞的概率，并且很容易凝聚凝聚成大颗粒，实现了气与相的分离。捕捉是指细小的液体颗粒随气体与分离器的持液层充分接触，然后被液体分离。加速器和分离器叶片表面液膜过厚高速气流的作用造成“散水”现象，大量大液滴从叶片表面喷出，在叶片上部形成大液滴。通过液滴层捕获，大液滴变大时落到叶片表面，再变成小液滴，实现对细液滴的捕获。消散是当细小的液体颗粒抛到分离器表面时，形成附着的液膜并与废气分离，从气体中分离出来并移动到气缸表面。

管束式除尘器实际应用：烟气通过旋涡耦合装置和雾床后大部分烟尘被去除。经过离心、多级、分离，保证吸收塔出口烟尘浓度小于 $2.53\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，满足超净排放要求。根据操作画面，当吸收塔入口烟尘浓度小于 $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 时，出口烟尘浓度 $1\text{mg}/\text{Nm}^3$ 效果最好。管束式除尘器采用模块化设计，置于喷床顶部，即原屋脊式除雾器的位置。对于新的脱硫装置，安装一层与屋脊式除雾器强度相同的支架，将管束式除尘器和除雾器模块直接安装在横梁上即可完成安装。脱硫装置改造只需拆除原除雾器层，保留除雾器梁底层即可完成转换作业，管束除雾器安装在原梁上即可。原上层除雾器光束可根据实际布局决定是否拆除。

3.2 管束式除尘除雾器与湿式电除尘器对比

湿式电除尘器相对管束式除尘除雾器技术：设备投资高，湿式电除尘器需要阳极管、阴极射线管、高压电源等一系列附件，投资成本高，运行电耗高。系统复杂，需要电控设备来维持高压电场，而湿式电除尘器的金属板需要增加专用的废水处理系统，增加了设备投资和运行维护成本，场地要求很高。湿式静电除尘器通常单独放置，占用较大的场地面积，有的放在脱硫塔顶上，但对脱硫塔的结构和后排烟道布置的要求，管束除尘雾化技术稍高一些，但增加高度就足够了。脱硫塔对改造工程具有明显优势，管束除尘除雾技术的多个项目已通过环保审批，技术经验比较成熟，技术优势明显。湿式除尘器对细颗粒粉尘的去除效果更好，对烟囱中常见的 SO_3 、石膏比和重金属细颗粒的去除率更高，烟气净化程度高于管式除尘除尘技术。随着环保标准的提高，湿式静电除尘器处理细颗粒物和重金属的优势将更加突出。

4 结语

许多工程实践表明使用旋流联轴器+管束式除尘器进行除尘超低排放技术项目，系统安全、稳定、可靠，具有效率高、除尘效率高、系统调试速度快、能耗低、操作灵活性大等特点。可以针对不同的单位负荷和入口 SO_2 浓度选择脱硫配置，选择最经济的泵运行模式，在低负荷、低硫含量下实现节能降耗。保证项目满足高可用性、高脱硫率、低石灰石消耗、低电耗，完全满足用水量和 SO_2 和烟尘排放要求。