

Rotary spray evaporation technology in the thermal power plant desulfurization wastewater zero discharge

Mingxing Li

Hebei Zhuozhou Jingyuan Thermal Power Co., Ltd., Zhuozhou, Hebei, 072750, China

Abstract

Desulfurization wastewater treatment in thermal power plants has always been the focus of the field of environmental protection. The sulfates, heavy metals and suspended substances rich in the desulfurization wastewater have caused serious pollution to the water environment. How to effectively deal with these desulfurization wastewater has become one of the difficulties in the environmental protection treatment of thermal power plants. In recent years, with the increasingly strict environmental protection regulations and the awareness of public environmental protection, zero discharge of desulfurization wastewater in thermal power plants has become an inevitable trend. As a new desulfurization wastewater treatment technology, rotary spray evaporation technology has shown great application potential in the field of zero discharge of desulfurization wastewater in thermal power plants due to its advantages of short process, low cost and simple operation.

Keywords

rotary spray evaporation technology; thermal power plant; zero discharge of desulfurization wastewater; application

旋转喷雾蒸发技术在火电厂脱硫废水零排

李明星

河北涿州京源热电有限责任公司，中国·河北 涿州 072750

摘 要

火电厂脱硫废水处理一直是环保领域的重点关注对象。脱硫废水中富含的硫酸盐、重金属和悬浮物质等对水环境造成了严重的污染，如何有效处理这些脱硫废水成为火电厂环保治理的难点之一。近年来，随着环保法规的日益严格和公众环保意识的增强，火电厂脱硫废水零排放已成为必然趋势。旋转喷雾蒸发技术作为一种新兴的脱硫废水处理技术，因其工艺流程短、成本低、操作简单等优点，在火电厂脱硫废水零排放领域展现出了巨大的应用潜力。

关键词

旋转喷雾蒸发技术；火电厂；脱硫废水零排；应用

1 引言

随着国家环保政策的日趋严格，国内越来越多的学者开展了大量关于脱硫废水旋转喷雾蒸发技术的研究，并且在多个火电厂脱硫废水零排放项目中应用，是目前研究最为广泛的一种废水零排放技术。以往为了减少二氧化硫排放，火电厂普遍采用湿法脱硫技术。但在净化过程中，湿法脱硫系统产生的脱硫废水含盐量高，污染大，硬度大。并且此类废水中含有重金属离子、硫酸盐、氯化物等污染物，直接排放会对水环境造成严重的危害，因此，推动火电厂脱硫废水零排放技术的研究与应用成为行业关注的焦点，以响应环保政策。

旋转喷雾蒸发技术原理是废水被送至高速旋转的雾化

盘时，受离心力的作用，废水伸展为薄膜或被拉成细丝，在雾化盘边缘破裂分散为粒径较小液滴，与高温烟气混合后实现蒸发固化最终实现废水零排放，经实践研究表明其是一种高效的废水处理方式。

2 旋转喷雾蒸发技术概述

旋转喷淋蒸发技术是主要依靠高速旋转喷嘴将液态废水转化为微小雾滴，使之充分接触高温气流，从而达到快速蒸发、浓缩或固化的过程，可以简单理解为是一种以高速雾化和热交换为主的废水处理方法。该技术的核心在于借助高速旋转离心力与气流动力让废水实现均匀雾化，并通过提高传热传质的效率实现加速水分的蒸发^[1]。旋转喷淋蒸发技术具有整体结构紧凑与运行稳定特点，其主要由高效旋转式喷头、热源系统、气固分离系统以及粉尘回收装置等部件构成。

旋转喷淋蒸发技术在火电厂脱硫废水零排放处理中应用价值显著。一是该技术可将脱硫废水中的水分高效去除，

【作者简介】李明星（1993-），男，中国河北廊坊人，本科，工程师，从事火力发电厂除灰、脱硫研究。

形成干燥的固体残渣,避免了液体废水的外排,从而达到了零排放的目的。二是通过控制蒸发温度以及雾化粒径,这在有效降低结构与腐蚀问题出现几率的同时促使设备运行稳定性和使用寿命提升。三是该旋转喷淋蒸发技术还能适应脱硫废水高盐、高污染物的特点,这能够防止出现高盐浓缩造成的设备堵塞问题,从而促使火电厂脱硫废水处理可操作性及经济性。

3 旋转喷雾蒸发技术在火电厂脱硫废水零排中应用

3.1 旋转喷嘴设计与优化

在火电厂脱硫废水零排放过程中旋转喷雾蒸发技术的高效应用,对旋转喷射优化与设计十分关键。首先,喷头材料的选择应满足耐高温、耐腐蚀、抗结垢的要求,同时为了保证长期稳定运行和减少维护频率,应采用镍基合金或陶瓷复合材料进行喷雾式喷射。其次,为了确保液滴形成均匀的雾化场,提高蒸发效率,喷头旋转速度需要根据雾化动力学特点进行优化,一般控制在 5000-15000rpm。同时在喷头角度上要与蒸发室内气流场相匹配,一般设置在 30°~60°范围内,这有助于避免出现液滴聚集或局部过饱和现象的发生。此外,液滴粒径的优化是提高火电厂脱硫废水蒸发速率的关键因素,为了增大比表面积,提高蒸发效率,设计中可采用双流体喷射系统或内部压力调节装置,这样能使液滴粒径稳定在 10-50 μm 范围内,从而实现稳定液滴颗粒尺寸的目的。旋转喷嘴内部结构设计上,应采用流道优化技术,减少湍流损失,提高液滴的剪切率,从而实现较稳定的微细雾化作用。旋转喷嘴设计中为避免喷头出现堵塞及实现智能维护目的,在喷头入口处安装高频脉冲自动清洗系统,结合超声波震荡技术,通过在线监测系统对喷嘴的运行状态进行实时检测。另外,喷嘴出口形态的优化也是提高火电厂脱硫废水雾化质量的一项重要举措,设计上可采用分段式渐扩结构,使液滴雾化更均匀,继而降低液滴间碰撞凝聚的可能性。最后,出于提升增强系统适应性目的,喷头还可采取可变调节机构这样一来能够让喷嘴能够依据蒸发室内的气流变化开展动态调整,从而进一步优化液滴的空间分布,避免蒸发不完全或结垢问题的发生。综上,为了达到火电厂脱硫废水的高效蒸发和零排放目标,在旋转喷嘴的设计工作中须全面考虑材料耐久性、雾化粒径控制、喷头角度匹配、内部流道优化以及防堵措施等多方面的因素。

3.2 高温烟气供热系统匹配

在火电厂脱硫废水零排放中应用旋转喷雾蒸发技术,要保证蒸发效率和系统稳定运行,高温烟气供热系统的合理匹配必不可少。首先,应根据锅炉尾部烟气温度特点,选择适宜的取气点,通常将烟气从除尘器或脱硫塔体前部提取,同时烟气温度控制在 850~1100 摄氏度范围内,这样有助于促使废水快速汽化,减少结晶盐沉积风险。为了优化传热效

率,需要在进入旋转喷雾式蒸发室之前,设计出高效的烟气导流装置,使烟气的流动路径均匀分布,从而使雾化液滴与高温烟气之间的热质交换率得到加强。此外,为减少系统热损失,提高整体能效,可配置余热回收装置,将部分热量对废水进行预热处理,从而降低能源消耗量。在实际运行过程中,高温烟气供热系统需要配置精确的温度监测与反馈控制系统,通过布设多个高精度热电偶传感器,同时采用自动控制方式精准调节烟气温度与流量,这将有助于避免局部过热或传热不均造成系统受到热冲击以及出现结垢问题^[2]。为了优化烟气流态、增强传热均匀性以及防止液滴粘附设备表面造成结垢,同时考虑到高温烟气的流动特性与可能出现的湍流效应,喷雾蒸发室中可安装上导流板上或旋流。为了提高设备的使用寿命,针对火电厂烟气中颗粒物和腐蚀性成分,需要采用耐高温的耐腐蚀材料制造蒸发室衬。同时,系统设计要综合考虑烟气成分变化对传热特性的影响,这有助于保证不同的工况下蒸发过程仍能高效率、稳定的条件下开展工作。

3.3 蒸发室结构设计与优化

旋转喷雾蒸发技术在火电厂脱硫废水零排放中应用离不开高效的蒸发室结构设计和优化。首先,蒸发室材料为避免高温条件下处理高盐废水的腐蚀和结晶析出受到影响,应选用耐高温、耐腐蚀合金(如高铬耐热合金)或耐化学腐蚀的陶瓷内衬。其次,蒸发室内部需要设计优化的气流分布结构,调整喷嘴布置和烟气入口导流板结构,这需要借助于 CFD 数值模拟对高温烟气流动特性进行分析来完成,从而保证雾化液滴与高温气体充分接触以及提高传热传质效率。同时设计中蒸发室流线形的曲面内壁应用,能有效减少湍流阻力,防止由于惯性冲击内壁而使液滴沉积、结垢,使系统运行稳定性得到提高。此外,喷嘴应采用控制液滴粒径在 50~200 微米范围内的高效双流体或压力旋转式结构,以保证最优的蒸发速度。对于排出固态析出物,一方面通过高温耐磨螺旋输送装置集成在蒸发室底部,另一方面则采取重力沉降区设计,使已固化的盐渣顺利排出并有助于避免因管道堆积而堵塞。为进一步优化蒸发过程,蒸发室结构设计中安装如热电偶、激光粒度分析仪、气流测速仪多参数在线传感器,同时借助 PLC 或 DCS 控制系统,对蒸发室内的温度场、湿度分布、气流速度变化等进行实时监测,并对喷雾量、气体流量、废水进料率等进行动态调整,以保持最佳运行状态。另外,喷头及内壁可利用自动冲洗系统定期作清洁,以避免水垢影响蒸发效能,以保证蒸发室长期稳定运作。

3.4 喷雾蒸发系统自动控制与优化

旋转喷雾蒸发系统在火电厂脱硫废水零排放处理中需依赖高精度自动控制技术,以确保蒸发效率和固体产物的稳定析出。首先,温度控制系统通过高精度 K 型热电偶或光纤温度传感器实时监测蒸发腔内烟气温度,并结合模糊控制算法优化 PID 调节策略,以自动调整高温烟气输入量,确

保废水在最优温度窗口内蒸发,避免低温导致蒸发不完全或高温诱发盐类挥发。其次,压力控制模块采用压力变送器(如扩散硅压力传感器)监测喷嘴内部流体压力,PLC系统基于实时数据进行动态调节,避免喷雾不均或喷嘴堵塞,同时结合智能故障诊断系统检测异常压力波动并自动触发喷嘴冲洗程序以恢复雾化状态。喷雾速率调节系统基于电磁流量计和超声波浓度传感器监测进水流量、电导率及盐分浓度,采用自适应控制算法计算最优喷雾流速,并由伺服比例调节阀精确控制,以维持雾滴粒径均匀性,避免因过浓缩引发结晶堵塞。烟气流量管理系统依托质量流量计和可变频引风机实时调整烟气流速,使烟气与雾滴的接触时间和换热强度处于最优区间,同时结合计算流体动力学仿真优化烟气流场分布,提升蒸发效率。固体产物排放控制系统利用称重传感器实时监测沉积物质量变化,当固体堆积达到设定阈值时,PLC系统自动开启机械输送装置或气力输送系统,确保固体产物及时清除以维持设备连续稳定运行。上述自动控制策略的实施能够实现旋转喷雾蒸发系统在复杂工况下的自适应优化调整,从而确保脱硫废水高效蒸发并实现固废稳定析出。

3.5 固体产物收集与处理

旋转喷雾蒸发技术在火电厂脱硫废水零排放过程中产生的固体残渣主要由硫酸钙、氯化钠及多种重金属氧化物组成,其高效收集与合理处置对于系统稳定运行及环境安全至关重要。首先,应配置高效气固分离装置,如旋风分离器、布袋除尘器或陶瓷滤管,以利用惯性分离、过滤截留等机理高效去除废气中夹带的固体颗粒,并结合输送系统(如螺旋输送机或气力输送装置)将其转移至专门储存单元。为进一步降低颗粒物排放,可增设湿式洗涤装置或高效静电除尘器,这样一来能够借助于静电吸附或者是滴液捕集方式吸收细颗粒,从而在降低其逃逸率背景下增强气体净化效率^[3]。

其次,固体残渣的处理需依据成分特性优化工艺流程,比如针对以硫酸钙和氯化钠为主的残渣,可采用水洗—分级分离技术去除可溶性盐分,提高残渣利用价值;对于重金属富集物,则可结合化学稳定化处理(如硅酸盐固化或磷酸盐沉淀)降低其浸出毒性,确保符合环境排放标准。在资源化利用方面,通过将水泥熟料与残渣混匀并进行热处理或其他改性手段使其物理化学性能优化,以用于公路工程作填充料或是建筑材料生产原料。此外,应在固体收集系统中安装实时在线监测设备,通过借助于离子体发射光谱、X射线荧光光谱等技术对其成分变化进行动态监测,随后结合废水特点对雾滴粒径、进料速率和蒸发温度等喷雾参数开展相应调整对晶体形成过程予以优化,这样一来能够做到可控析出固体颗粒,从而达到分离效率提升的同时大大减少了后续处理工作量与难度。

4 结语

综上所述,凭借其高效率雾化蒸发能力,火电厂脱硫废水零排放中旋喷蒸发技术显示出了广阔的应用前景。通过喷头设计、高温烟气供暖系统、蒸发室结构、固体产品收集等多个方面的合理优化,能够有效提高火电厂脱硫废水处理效率与质量,且减少系统运行风险。未来随着环保政策的日趋严格,该技术将在火电行业脱硫废水处理领域将扮演更加重要的角色,为更广泛的工业废水资源化和环保化目标的实现提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 连坤宙,吴火强,李瑞鹏,等.旋转喷雾蒸发技术在火电厂脱硫废水零排放项目中的应用[J].水处理技术, 2023, 49(3):152-156.
- [2] 陈尚彬.旋转喷雾蒸发技术在火电厂脱硫废水零排放项目中的应用[J].生态与资源, 2023(10):0014-0016.
- [3] 杜艳玲,柴启华,员在斌.旋转喷雾干燥法在火电厂脱硫废水零排放改造中的应用[J].内蒙古电力技术, 2018, 36(2):4.