

脱硫废水烟气蒸发处理技术的分析及应用

连鹏,王凯亮

(中国华电科工集团有限公司,北京 100160)

摘要:脱硫废水作为燃煤电厂最末端的废水,具有水质复杂、处理难度大的特点。传统的脱硫废水处理工艺即“三联箱”技术达到的水质排放标准越来越不符合国家严格的环保发展形势,脱硫废水的排放已经是燃煤电厂面临的严重的环保问题,电力企业实现脱硫废水零排放的需求越来越迫切。利用烟道烟气对脱硫废水进行蒸发处理,理论计算分析可行性,技术路线相对简单。通过比较分析利用烟道烟气蒸发脱硫废水的不同技术路线的优缺点和使用范围,为实现脱硫废水的零排放提供一定的参考。

关键词:脱硫废水;蒸发塔;雾化喷枪;旋转雾化器

中图分类号:X 773

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2018)10-0059-04

0 引言

传统的脱硫废水处理工艺即“三联箱”技术已经较为成熟,该工艺采用物理化学方法,经过中和、沉降、絮凝和澄清等过程对脱硫废水进行处理^[1]。但是,该工艺不能有效去除废水中的高浓度氯离子,处理出水为高含盐废水,具有强腐蚀性,无法回收利用。如若排入自然水系,将会造成环境污染。

随着国家环保节能政策的日趋严格,特别是2015年国务院发布《水污染防治行动计划》(水十条),国家将强化对各类水污染的治理力度,提出了最严格的源头保护和生态修复制度,全面控制污染物排放,着力节约保护水资源,全力保障水生态安全。

脱硫废水排放已经是燃煤电厂面临的严重的环保问题,传统的脱硫废水处理工艺达到的水质排放标准越来越不符合当下国家严格的环保发展形势,电力企业实现脱硫废水零排放的需求越来越迫切,减排和近零排放成为必然趋势。近年来国内脱硫废水处理领域实施的高盐废水蒸发结晶处理技术,多采用高品位能源进行废水的蒸发干燥、盐分的回收利用,以实现脱硫废水零排放。该技术存在严重的腐蚀、结垢问题,对设备材质防腐性能要求高,且能耗高,投资、运行成本高,运行控制难度大^[2]。

利用烟道烟气对脱硫废水进行蒸发处理,相比较高盐废水蒸发结晶处理技术的高造价、高能耗和高运行费用相比,可大大降低工程造价、能耗和运行费用,且技术简单,理论上可以实现脱硫废水的零排放。因此,受到了越来越多的关注。

1 处理技术分析

1.1 工艺原理

通过废水与热烟气的有效接触,利用烟道烟气的热量将雾化后的脱硫废水进行蒸发,实现水与盐的分离,完成最终的固液分离,从而实现脱硫废水的零排放。蒸气随除尘后的烟气进入脱硫塔,在脱硫塔的喷淋冷却作用下,水分凝结进入脱硫塔的浆液循环系统。废水中的污染物转化为细微结晶颗粒物,随烟气中的飞灰一同通过仓泵回收或在除尘系统中被捕获收集,并随灰一起外排。

1.2 技术路线

按脱硫废水的喷射位置不同,利用烟道烟气蒸发脱硫废水可分为直接烟道喷雾蒸发技术和旁路烟道喷雾蒸发技术^[3]。后者根据废水雾化方式的不同,又可分为双流体喷雾蒸发塔和旋转喷雾蒸发塔。

1.3 关键设备

脱硫废水的雾化效果是烟气蒸发处理技术的核心,直接关系到废水能否完全蒸发及电厂烟道和除尘器的安全运行。

1.3.1 喷枪

双流体喷枪是直接烟道喷雾蒸发和双流体喷雾蒸发塔最核心的部分。双流体喷枪配置气流式雾化喷嘴,利用高速流动的气体和液体之间的相互作用来将脱硫废水雾化。

双流体喷枪喷嘴结构简单,磨损小;对低黏度或高黏度液体均可雾化,适用范围广;操作压力低;雾化粒径细;可控性较好,通过控制气液比可控制雾滴大小的优点。

此外,由于脱硫废水具有较强的腐蚀性,故喷嘴材质必须具备耐腐蚀特性。

1.3.2 旋转雾化器

旋转雾化器是旋转喷雾蒸发塔最核心的部分。脱硫废水送至高速旋转的雾化器时,由于离心力的作用,废水伸展为薄膜或被拉成细丝,在雾化器边缘破裂分散为液滴,液滴的大小取决于旋转速度和浆液量。旋转雾化器能够保证在液体流量不发生很大变化时,雾化雾滴的粒径分布不发生显著改变。

由于液滴脱离雾化器的相对速率高,达到 160 ~ 200 m/s,传质系数较大。同时,每升雾化废水可以形成 200 m² 的表面积,雾化效果好。因此,保证了脱硫废水在旋转喷雾蒸发塔中能够快速蒸发干燥。

旋转雾化器除具有高可靠性、易维护、耐磨、雾化均匀等优点外,其喷雾量的调节范围广,对烟气温度、烟气成分、烟气量等变化适应性强,能快速响应机组工况的变化。

2 直接烟道喷雾蒸发

直接烟道喷雾蒸发技术是将脱硫废水通过双流体喷枪进行雾化后喷入除尘器入口烟道,利用烟气余热使之瞬间蒸发^[3]。废水蒸发后产生的结晶盐附着在烟气中的粉煤灰上,在除尘系统中被捕获收集,并随灰一起排出。水蒸气随除尘后的烟气进入脱硫塔,在脱硫吸收塔内冷凝成新鲜水循环利用。直接烟道喷雾蒸发流程如图 1 所示,图中 SCR 为选择性催化还原法。

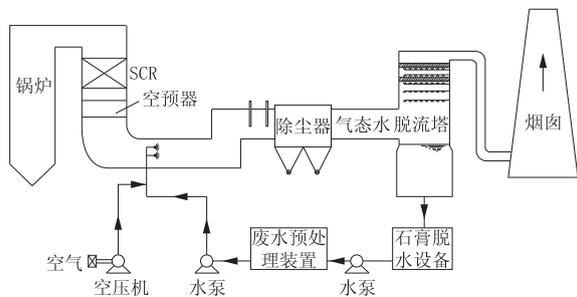


图 1 直接烟道喷雾蒸发系统

该工艺需要脱硫废水在进入除尘器电极前完全蒸发,并且控制烟气温度高于酸露点温度,否则会对除尘器电极板造成腐蚀。因此需要对废水在烟道内的蒸发过程进行比较精确的控制。

雾化后的脱硫废水能否在进入除尘器之前完全蒸发,受到烟道的结构及长度、烟气温度、雾化粒径等因素的影响^[4]。

2.1 烟道结构及长度

除尘器之前的直烟道段应达到足够的长度,应能保证雾化废水在 1s 内完全气化,而且雾化喷嘴的安装位置应通过计算流体动力学(CFD)模拟分析进

行精确控制。

2.2 烟气温度

烟道中烟气温度越高,雾化废水的蒸发速度越快。应保证烟气温度不低于 130 ℃。

2.3 雾化粒径

雾化粒径越小,液滴的比表面积越大,蒸发所用时间越少,蒸发的速率也就越快。液滴到达烟道壁前已经完全蒸发,可以有效地防止粘壁现象的发生。反之,雾化粒径越大,残留未完全蒸发的液滴越多,与烟道壁面碰撞的液滴也越多。脱硫废水雾化粒径应小于 50 μm。

3 旁路烟道喷雾蒸发

利用旁路烟道喷雾蒸发技术设置独立的蒸发塔。从空预器前端烟道引接旁路烟道,引入高温烟气至蒸发塔,通过烟气调节阀控制由烟道引出的烟气流量。将脱硫废水雾化后喷入蒸发塔,利用烟气热量使雾化后的废水瞬间蒸发。结晶盐随粉煤灰通过仓泵回收或在除尘系统中被捕获收集,并随灰一起排出。水蒸气随除尘后的烟气进入脱硫塔,在脱硫吸收塔内冷凝成新鲜水循环利用。

3.1 双流体喷雾蒸发塔

双流体喷雾蒸发塔采用双流体喷枪,通过压缩空气的作用对脱硫废水进行雾化处理^[5]。

烟气引自 SCR 脱硝之后空预器之前的烟道,烟气温度为 350 ~ 400 ℃,抽取烟气量约占总烟气量的 5%。预处理之后的废水由高压泵引至喷雾蒸发塔,采用双流体喷枪将其雾化喷射到高温烟气中,废水中的水分快速蒸发,增湿降温后的烟气注入除尘器前主烟道。废水中的 Cl⁻、Ca²⁺、SO₄²⁺、Mg²⁺、重金属离子等各种污染物瞬间蒸发干燥结晶形成细微颗粒物,随粉尘在除尘器中被捕集下来,水蒸气进入脱硫吸收塔循环利用,流程如图 2 所示。

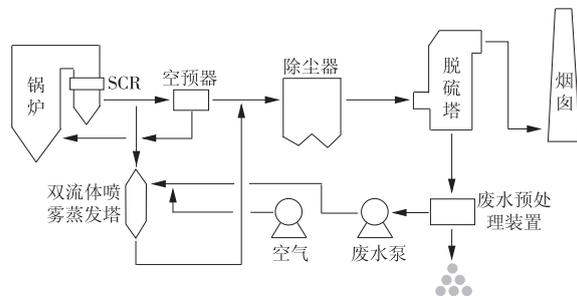


图 2 双流体喷雾蒸发塔系统

3.2 旋转喷雾蒸发塔

旋转喷雾蒸发塔采用旋转雾化器^[6],通过高速旋转产生的离心力作用对脱硫废水进行雾化处理。

引接空预器前的一部分锅炉热烟气经蒸发塔顶

部的气体分布器均匀进入喷雾蒸发塔内,脱硫废水经蒸发塔顶部的旋转雾化器雾化成平均粒径约 $10 \sim 60 \mu\text{m}$ 的细雾滴喷入蒸发塔内。在蒸发塔内雾滴与热烟气充分接触,废水迅速蒸发,水分进入烟气中。雾滴中的盐分结晶析出混入原烟气的粉尘中,大部分随烟气进入后续除尘器,由后续除尘器收集,其余落入蒸发塔底端被收集转运。处理后的烟气排入电除尘器前的主烟道中。流程如图 3 所示。

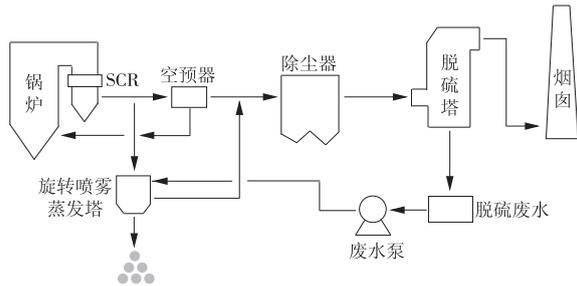


图 3 旋转喷雾蒸发塔系统

4 技术路线比较分析

采用脱硫废水烟气蒸发处理技术可以实现脱硫废水的零排放。同时, HCl 等气态物的产生会增加脱硫废水的外排量及增加烟道腐蚀的风险。

4.1 直接烟道喷雾蒸发和旁路烟道喷雾蒸发

直接烟道喷雾蒸发技术利用的烟气烟温较低, 废水蒸发速率较慢, 需要的蒸发距离较大(约 15 m), 可消纳废水量小, 存在废水蒸发不完全造成雾滴挂壁、烟道腐蚀、增加烟道结垢、积灰等风险, 有影响锅炉正常稳定运行的可能性。旁路烟道喷雾蒸发技术利用的烟气烟温高, 具有以下优点。

(1) 脱硫废水经过蒸发塔蒸发结晶后, 烟气湿度增加, 降低粉煤灰的比电阻, 可以提高除尘器的除尘效率。

(2) 脱硫废水氯盐含量高, 少量氯的溢出有利于汞的氧化, 有协同除汞贡献。

(3) 不影响主机组操作, 易于实现在役机组改造。作为独立单元对主烟道没有影响, 出口温度等于或略高于除尘器入口烟气温度。

(4) 受机组负荷变化影响较小, 运行简单, 对锅炉运行的适应性较高, 安全可靠性能较高。

(5) 空预器前高温烟气的抽取量控制在 5% 以下, 废水喷雾蒸发后对空气预热器进、出口烟温影响很小。喷雾后空气预热器一次、二次风温有略微降低, 但波动范围基本在喷雾前的波动范围内, 对锅炉热效的影响较小(小于 0.5%)。

4.2 双流体喷雾蒸发塔和旋转喷雾蒸发塔

双流体喷雾蒸发塔塔径小, 建设费用低, 布置更为方便。

双流体喷枪在烟道内一般按直线布置, 每个喷嘴产生扇形雾区, 每个扇形叠加覆盖, 易造成与烟气混合的不均匀。旋转雾化器依靠高速旋转的喷雾盘产生均匀的圆锥形雾区, 与烟气混合较充分。

双流体喷枪采用压缩空气为动力, 且消耗量较大, 一般需单独增加空压机设备。旋转雾化器采用电机驱动, 省去了压缩空气系统, 系统更加简单。而且, 通过调节雾化器转速可以调整雾化特性, 操作更为简单。

双流体喷枪静止的布置在烟道内, 喷射口易结块而堵塞喷嘴, 维护工作量较大。旋转雾化器处于高速旋转中, 不易产生堵塞, 维护工作量小。

双流体喷枪雾化脱硫废水, 脱硫废水宜经过预处理(如软化等)。旋转雾化器可直接对悬浮物浓度小于 25% 的废水进行雾化, 适用范围广。综上, 各技术(不含废水预处理)比较见表 1。

表 1 脱硫废水烟气蒸发处理技术比较分析表

项目	直接烟道 喷雾蒸发	旁路烟道喷雾蒸发	
		双流体喷 雾蒸发塔	旋转喷雾 蒸发塔
投资费用	低	较低	较高
运行费用	低	低	较低
受机组负荷变化影响	较大	较小	较小
对锅炉效率影响	无	略有	略有
对烟道的影响	存在一定风险	较小	较小
对飞灰的影响	小	小或极小	小或极小
所需设备	少	少	少
系统复杂程度	简单	较简单	较简单
工艺技术要求	一般	一般	一般
占地面积	小	较小	较大
操作环境	好	好	好
进水要求	较高	较高	低
热源	空预器之 后烟气	空预器之 前烟气	空预器之 前烟气
压缩空气	需要	需要	不需要
结晶盐的处理	不需要	不需要	不需要
烟气要求	高	低	低
烟气量	大	小	小
烟道布置要求	较高	低	较低
结垢问题	存在	存在	低
适用性	较低	强	较强
处理水量	有限	有限	有限
废水预处理系统	建议采用	建议采用	不需要
药剂消耗	预处理需要	预处理需要	无
自动化程度	较高	较高	较高
维修	简单	简单	简单
化学清洗	不需要	不需要	不需要

目前,脱硫废水烟气蒸发处理技术在国内的工程应用见表 2。

表 2 国内脱硫废水烟气蒸发处理技术应用业绩表

序号	工程案例	机组容量/MW	技术路线	处理能力/(m ³ ·h ⁻¹)	投运时间
1	华能上都	4×600	直接烟道喷雾蒸发	8	2011-12 2015-10
2	常熟电厂	1×300	直接烟道喷雾蒸发	1.5	2013
3	华电桓仁	2×12	直接烟道喷雾蒸发	1	2015-03
4	华电哈发	3×25+12+15	直接烟道喷雾蒸发	3	2016-01
5	华电土右	2×660	直接烟道喷雾蒸发	10.5	2016-04
6	华电灵武	2×600	直接烟道喷雾蒸发	12	2016-03
7	焦作万方	2×350	双流体喷雾蒸发塔	8	2015-09
8	大唐阳城	1×350	双流体喷雾蒸发塔	1	2017-07
9	浙能长兴	1×330	旋转喷雾蒸发塔	3	2016-08
10	临汾热电	1×300	旋转喷雾蒸发塔	5	2017-07
11	华电扬州	2×330	旋转喷雾蒸发塔	10	2018-05

5 结论

脱硫废水烟气蒸发处理技术在建造和运行成本方面具有良好的竞争优势,同时没有固体废弃物产生,是极具市场前景的技术路线。

燃煤电厂应根据自身的实际情况进行技术路线的优化选择。条件允许的情况下,可优先选用安全可靠较高的旁路烟道喷雾蒸发技术实现脱硫废水的零排放。

为提高脱硫废水烟气蒸发系统的可靠性,保证系统的长期安全稳定运行,提出如下建议。

(1)在采用双流体喷枪时,为避免脱硫废水中的高盐析出,从而堵塞喷枪喷嘴,建议对废水进行软化预处理,以脱除废水中容易结垢的钙、镁离子。

(2)烟气温度的降低应控制在高于酸露点或者空预器出口温度以上,从而避免烟气的冷凝或未蒸发液体的夹带。

(3)可考虑在烟道内或蒸发塔内设置贴壁风,以减缓或避免脱硫废水的粘壁,从而对烟道产生结垢、腐蚀等不利影响。

(上接第 55 页)障的发生。同时在出现由涡流引起的发热故障后,应尽早正确地处理,保证发供电的可靠性。

目前已将该电厂机组电缆槽盒进行移位,远离强大电磁场,彻底解决了磁场涡流导致槽盒发热的隐患,同步排查其他运行环境并进行整改,至今没有发生由于电磁涡流造成电气设备过热情况问题。

参考文献:

[1]王维俭.电气主设备继电保护原理与应用[M].北京:中国电力出版社,1996.

[2]马信山,张济世,王平.电磁场基础[M].北京:清华大学出版社,1995.

[3]高保华.大电流电气设备的涡流发热及其防止措施[J].电工技术,2005(8):72-73.

参考文献:

[1]高原,陈智胜.新型脱硫废水零排放处理方案[J].华电技术,2008,30(4):73-75.

[2]刘海洋,江澄宇,谷小兵,等.燃煤电厂湿法脱硫废水零排放处理技术进展[J].环境工程,2016,34(4):33-36.

[3]杨跃伞,苑志华,张净瑞,等.燃煤电厂脱硫废水零排放技术研究进展[J].水处理技术,2017,43(6):29-33.

[4]康梅强,邓佳佳,陈德奇,等.脱硫废水烟道蒸发零排放处理的可行性分析[J].土木建筑与环境工程,2013,35(S1):238-240.

[5]张净瑞,梁海山,郑煜铭,等.基于旁路烟道蒸发的脱硫废水零排放技术在火电厂的应用[J].环境工程,2017,35(10):5-9.

[6]贾绍广,于伟静,张润盘,等.蒸发塔技术用于脱硫废水的处理[J].环境工程学报,2017,11(4):2241-2246.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

连鹏(1977—),男,山西晋城人,工程师,工学硕士,从事水处理设计、研究及开发方面的工作(E-mail:lianp@chec.com.cn)。

[4]张庆达.电缆实用技术手册:安装、维护、检修[M].北京:中国电力出版社,2006.

[5]毛锦庆.电力系统继电保护实用技术问[M].2版.北京:中国电力出版社,2003.

[6]张保会.电力系统继电保护[M].北京:中国电力出版社,2005.

[7]中国大唐集团公司.防止电力生产重大事故的二十五项重点要求实施导则[M].北京:中国电力出版社,2006.

[8]邹森元.《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》条例分析[M].北京:中国电力出版社,2005.

(本文责编:陆华)

作者简介:

杜喜来(1982—),男,河北邯郸人,工程师,从事继电保护方面的工作(E-mail:beauty326@sina.com)。