

# 循环流化床烟气脱硫系统运行的技术分析与建议

杨群山

(吉林省吉林市热力集团有限公司, 吉林 吉林 132000)

**摘要:**为了解决在循环流化床烟气脱硫系统运行中存在的问题,将烟气脱硫技术的具体类型为基础进行分析,探讨了循环流化床烟气脱硫系统运行工艺和技术特点,通过对循环流化床烟气脱硫系统的优化进一步提升了烟气脱硫系统的应用效益,以期类似循环流化床烟气脱硫系统运行技术优化提供参考。

**关键词:**循环流化床;烟气脱硫工艺;技术要点

**中图分类号:**X773

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-7344(2023)47-0118-03

## 0 引言

在经济发展速度不断加快的情况下,我国的生态文明建设工作越来越深入。在当前的生态环境保护工作中,对锅炉排气和大气污染排放的标准越来越严格。为了确保锅炉烟气达到排放标准,降低能耗,需要对洁净煤燃烧先进技术循环流化床燃煤锅炉进行应用。在循环流化床燃煤锅炉系统运行过程中,需要加强烟气脱硫系统的运行监测,对该技术进行充分应用,提高循环流化床烟气脱硫系统的应用水平,保证烟尘去除率达标。

## 1 烟气脱硫技术类型

现阶段,在锅炉运行过程中,可以根据不同分类方法对烟气脱硫系统的具体技术类型进行划分。

### 1.1 按照脱硫剂种类分类

根据脱硫剂的种类进行分类时,对烟气脱硫技术进行划分包含以石灰石为基础的脱硫技术、以氧化镁(MgO)为基础的脱硫技术、以亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )为基础的脱硫技术、以氨气( $\text{NH}_3$ )为基础的脱硫技术、以有机碱为基础的有机碱法脱硫技术。

### 1.2 按照脱硫过程分类

根据脱硫过程对烟气脱硫技术进行分类时,主要是按照燃烧前后进行分类,包含燃烧前、燃烧中、燃烧后脱硫3种类型。燃烧前脱硫在应用过程中需要发挥选煤技术的优势。在燃料燃烧之前需要对其含硫量进行控制,达到脱硫的目的。燃烧中的脱硫技术主要是指燃料在燃烧过程中开展脱硫操作,在燃烧时需要投入脱硫剂,借此脱除二氧化硫。循环流化床烟气脱硫技术就属于在燃烧中进行脱硫的技术类型。燃烧后脱硫需要在烟道外设置脱硫设备,完成烟气脱硫。应用比较普遍的技术是石灰石-石膏法<sup>[1]</sup>。

### 1.3 按照吸收剂和脱硫产物分类

在烟气脱硫过程中脱硫剂有干湿状态,也可以将

其分成湿法脱硫技术和干法脱硫技术、半干半湿法脱硫技术。湿法脱硫技术在运行中将脱硫浆液喷入脱硫塔,可以使其与烟气混合,烟气中的二氧化硫和脱硫浆液出现反应生成亚硫酸钙( $\text{CaSO}_3$ )达到脱硫的目的。湿法脱硫技术的脱硫效率比较高,整体投资成本相对较低,设备占用的空间也相对较小,操作比较简单方便,但是很容易出现二次污染,并且废水后处理问题是难点,能耗比较高。干法脱硫技术需要将 $\text{CaCO}_3$ 直接喷入炉膛,高温锻造分解成氧化钙( $\text{CaO}$ ),与烟气中的二氧化硫直接发生反应,生成硫酸钙。通过电子束照射、活性炭吸附能够对二氧化硫进行转化,使其成为硫酸铵或者硫酸。干法脱硫技术在应用过程中的整体操作相对简单,并且在整个脱硫处理过程中不会产生污水,也不需要进行酸处理,整体运行功耗比较低,净化后的烟气温度相对较高,排气效率比较高,并且在干法脱硫操作过程中不会出现白烟问题,对烟气进行净化后也不需要二次加热,产生的腐蚀问题比较小<sup>[2]</sup>。

## 2 循环流化床烟气脱硫系统概述

### 2.1 循环流化床工艺组成

在本次研究过程中,循环流化床作为脱硫、除尘一体化烟气脱硫技术具有突出的应用效益。在循环流化床运行过程中可以改造原有的除尘器,利用一级电除尘器保证粉煤灰的综合利用效果。对循环流化床进行改造升级后,脱硫系统的主要组件包括预电除尘器、物料再循环工艺系统、吸收塔系统、水应用系统、吸收剂制备系统、脱硫后除尘器、仪器控制系统等不同结构组成。

在该系统运行过程中,从空气预热器中排除烟气后,预除尘器可以完成烟气初步处理,之后从底部进入脱硫塔内,高温烟气以及吸收剂循环,脱硫灰可以完成预混合之后进行脱硫操作。在整个系统运行过程中,吸

收剂和氯化氢(HCl)、氟化氢(HF)可以发生反应,脱硫塔底部的文丘里管加速后可以使其进入循环流化床体内部,物料在循环流化床体内为气固两相。受气流作用可以实现湍动混合保证物料接触充分,上升时形成的絮状物在湍动中解体,在气流的提升作用下,会形成内循环颗粒流,这一颗粒流与循环流化床类似。气固两相的滑落速度比较高,一般是单颗粒滑落速度的几十倍甚至以上。脱硫塔运行时,顶部结构会对絮状物的下沉作用进行强化,确保脱硫塔内部颗粒床层的密度符合要求。循环流化床体内的钙硫比在50以上。在气固两相机制的作用中,可以强化气固之间的传质和传热效果,保证脱硫效率处于较高水平<sup>[3]</sup>。

在对循环流化床的整体运行结构进行改造时,需要将喷水装置设置在文丘里管出口扩管的管段,喷雾的雾化水能够使用反应器内的烟尘温度降低,烟尘温度比烟气炉温度高15℃左右时,可以确保二氧化硫和氢氧化钙(Ca(OH)<sub>2</sub>)完全反应。此时,吸收剂以及循环脱硫灰在文丘里管的塔内可以进行充分反应生成副产物石膏(CaSO<sub>3</sub>·1/2H<sub>2</sub>O)。与此同时,与三氧化硫(SO<sub>3</sub>)、HCl等可以反应生成副产物石膏以及氟化钙(CaF<sub>2</sub>)、氯化钙(CaCl<sub>2</sub>)。烟气上升时,颗粒中的一部分物质会随着烟气排出脱硫塔,还有一部分物质因为自身重量原因会重新进入循环流化床内进行循环,确保流化床的床层颗粒浓度稳定,能够延长吸收剂的反应时间。在烟气处理完成后,含尘烟气直接可以从脱硫塔的顶部排出并转向脱硫除尘器。通过引风机将其引入烟囱后,除尘器可以捕集固体颗粒,之后除尘器地再循环系统可以将捕捉到的固体颗粒返回到脱硫塔持续反应。通过这种循环操作可以确保多余的脱硫灰渣及时进入脱硫灰仓内,通过罐车和二级输送设备排出。

## 2.2 循环流化床脱硫系统的技术特点

在整个系统运行过程中操作比较简单,综合造价水平比较低。循环流化床烟气脱硫系统的综合造价与当前的湿法脱硫工艺50%造价成本相当,并且在后期开展系统运行和维护工作时工作量比较少,能够降低维护费用。流化床的工艺维护工作量比较小,整个系统仅仅需要对风机、水泵等进行维护,费用是整个系统投资的1%左右。在循环流化床烟机脱硫系统运行过程中的整体电耗量比较低,其占发电总量的0.5%~0.7%,如果利用布袋除尘器,其电耗量会更低。此外,在循环流化床烟气脱硫系统运行过程中水损耗量也比较低,因为该系统只有生石灰消化系统和吸收塔降温系统这两个环节需要利用水,整个系统的水耗量是湿

法脱硫系统工艺水耗量的70%左右。该系统在运行过程中不需要对防腐措施进行考虑,主要是因为该工艺在运行中除了几乎全部的HCl、HF和SO<sub>3</sub>,烟气温度高于露点温度高15℃,其他环节均没有腐蚀情况。在整个系统运行中,几乎所有设备的材质为碳钢,耐腐蚀性较强。

在该工艺运行过程中整个工艺都比较简单可靠,受燃煤含硫量的限制较小,当燃煤含硫量为1.1%~1.20%,钙硫比不会超过1.2,脱硫率超过90%,并且排烟温度为70℃以上。并且在系统运行中,即使使用的燃煤含硫量变化,也不会对系统产生较大影响,仅需要根据煤炭含硫量的实际情况完成钙硫比、吸收剂量调整即可。此外,该系统对锅炉负荷适应力要求并不高,可以通过调整吸收剂量、水平、吸收塔压浆适应不同负荷应力的锅炉。整个工艺系统的脱硫效率在90%以上,并不需要设置烟气换热器,可以防止烟气换热器漏风对换脱硫效率产生的负面影响。在操作过程中吸收剂需要利用生石灰粉或者消石灰粉,对这两者的要求相对较高,吸收剂来源比较少。这一部分副产物的综合利用价值也不如脱硫石膏。这也是循环流化床烟气脱硫系统在运行过程中存在的主要不足。

## 3 循环流化床烟气脱硫系统运行优化建议

### 3.1 二氧化硫吸收系统优化建议

在循环流化床烟气脱硫系统运行过程中,需要明确吸收塔对脱硫系统产生的具体影响,重视二氧化硫吸收系统的优化工作。具体可以采取以下措施。

(1)科学设定液气比。在整个系统运行中,对液气比进行优化设计可以扩大塔内的喷淋密度以及面积,对提升脱硫效果有帮助。通过优化的液气比一般保持在8~25L/m<sup>3</sup>。

(2)对烟气速度进行科学设定。提高烟气速度对降低吸收塔的直径有积极作用。这样可以减少钢材使用量和其他设备的消耗,可以对改造成本进行合理控制。但是需要注意要对烟气压缩速度进行合理控制,不能过大,否则会导致吸收塔内部压力以及运行负荷上升。一般情况下,烟气速度为3.5m/s。

### 3.2 对吸收塔直径进行优化

在吸收塔直径优化过程中,需要分析脱硫塔内部的传质和气液分布情况,如果烟气速度本身处于较小的范围,流速增加速度超过压降增加速度,烟气速度处于持续上升的状态,有很大可能引发液返问题。对吸收塔直径进行设计时,必须考虑吸收剂液滴大小,保证烟气速度值的合理性<sup>[4]</sup>。

### 3.3 加强喷淋层计算优化

在喷淋层设计选型过程中需要对喷头材质进行确定,目前比较常见的喷头材质为玻璃钢材质和碳钢材质。玻璃钢材质具有较强的耐磨性能和耐化学腐蚀性能,但是硬度比较低,仅仅用来制作硬度要求不高的支管。碳钢材质的硬度相对较高,可以作为关键管道发挥作用。

喷淋层在安装布置过程中需要确定喷嘴在塔内的实际位置。根据环境的实际情况明确喷嘴和支管的距离,可以防止脱硫浆液和喷嘴碰撞。在对喷淋款式进行优化设计的过程中,脱硫塔的喷嘴必须具有较强的耐磨性和耐腐蚀性能,一般以螺旋式或者锥切形为主。大口径设计可以避免喷嘴被堵塞或者结垢问题,使气液接触充分,保证雾化效果。

### 3.4 加强除雾器优化

在除雾器优化过程中需要对其进行科学选型。折流板型除雾器在应用过程中垂直放置时,折流板的数值为20~70mm,烟气流量为2~3m/s,在水平放置情况下烟气流量为6~10m/s。波形板除雾器在发挥作用的过程中,需要借助液滴惯性力进行分离,在气流速度固定的情况下,大体积液滴惯性比较大,会出现明显的分离情况。临界分离粒径可以作为对除雾器能力进行评价的重要指标,数值越小,说明除雾器的整体运行能力比较强。在对烟气的停留时间进行优化时,需要对烟气流速、脱硫喷淋塔内时间分析。为了防止脱硫浆液进入烟道,第1层脱硫喷淋层的高度应设置为3~3.5m,喷淋层间需要设置成2~2.5m。这样能够保证烟气在脱硫塔内有充分的停留时间,从而达到高效去除二氧化硫的目的。

在除雾器优化设计过程中,还要对冲洗参数进行设计,冲洗时需要清除除雾器的固体残渣以及残留浆液,防止出现堵塞或结垢问题,否则会导致烟气流动时的阻力上升,影响脱硫效果。在设计过程中,对两层冲洗水力量进行差异化设计,第1层 $1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ,第2层为 $0.34\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 。

### 3.5 系统运行优化建议

在系统运行过程中采取的优化设计措施主要包含以下内容。

(1)对炉内的脱硫效率进行优化。需要加强床温控制工作,循环流化床的床温会对脱硫剂的使用效果产生影响。如果床温在 $800^\circ\text{C}$ 以下或者在 $870^\circ\text{C}$ 以上,都不利于形成脱硫反应,会对脱硫效果产生负面影响。因此,锅炉的床温最好保持在 $800\sim 870^\circ\text{C}$ ,确保脱硫剂可

以充分发挥作用,提高脱硫效果。除此之外,还要对锅炉内部的脱硫特性进行充分利用,炉内脱硫之后烟气有活性氧化钙可以降低吸收剂的使用量,对活性氧化钙进行充分利用能够进一步提高脱硫效果,可以达到少用,甚至不用吸收剂完成脱硫要求的目的,对降低脱硫成本有积极作用<sup>[9]</sup>。

(2)石灰石品质控制。在运行优化过程中还要加强石灰石品质控制。石灰石的质量对脱硫效果有决定性影响。对石灰石进行选择时,需要选择含水率在1%的石灰石粉。石灰石粉碎系统在设计过程中,需要按照分级粉碎的原则,粗碎可以利用破碎机,细碎利用柱磨机。如果石灰石的来料粒径在30mm以下,可以直接使用磨机进行操作。石灰石的颗粒粒径要保持在0.2~1.5mm。

(3)对物料滞留时间进行控制。这也是运行优化的主要措施之一。炉膛内的烟气二氧化硫和氧化钙有效反应时间越长,可以大大提高脱硫效果。因此,需要对硫化风速、循环倍率、烟气速度等参数进行有效控制。

## 4 结语

在当前的工业生产过程中,为了保证脱硫效率,需要对循环流化床烟气脱硫技术进行应用,该工艺能够满足我国现有的大气污染物排放标准。在烟气脱硫系统应用过程中,需要根据实际生产情况对脱硫技术进行科学选择,根据循环流化床烟气脱硫系统的具体运行情况对优化措施进行科学应用,充分发挥循环流化床烟气脱硫技术的应用优势,减少锅炉烟气中的污染排放量,提高生产系统的经济效益和生态效益。

### 参考文献

- [1] 高巍.优化循环流化床锅炉烟气脱硫运行的分析[J].休闲,2021(13):1.
- [2] 周启.优化循环流化床锅炉烟气脱硫运行的分析[J].当代化工研究,2021(8):62-63.
- [3] 刘涛.循环流化床炉烟气脱硫的深度治理及优化[J].设备管理与维修,2019(2):172-173.
- [4] 吴永彬.循环流化床脱硫系统入口烟气均匀性的研究[J].节能与环保,2022(1):65-67.
- [5] 刘虎伟.优化循环流化床锅炉烟气脱硫运行研究[J].环球市场,2019(29):207.

**作者简介:**杨群山(1973—),男,汉族,吉林吉林人,本科,工程师,研究方向为热能合理利用和开发、热能系统与设备的设计和优化、节能技术和加热管理等。