

防治技术

煤矿链条锅炉烟气净化技术应用

谷松

(淮南矿业(集团)有限责任公司,安徽淮南 232001)

摘要: 采用 SNCR-布袋除尘-引风机-湿式钙法脱硫塔-烟囱的工艺对谢一矿 3×25 t/h 链条锅炉烟气进行净化处理,烟气经净化后的脱硫、除尘、脱硝最低效率分别为 90 %、99 %、25 %,满足修订后的《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-2014)。经济效益分析表明,该工艺每年可脱除二氧化硫 1 452 吨、烟尘 2 661 吨、氮氧化物 54 吨,免交排污费 233.94 万元,社会、环境和经济效益显著。

关键词: 锅炉烟气;湿式钙法脱硫;布袋除尘;SNCR

中图分类号:X701

文献标识码:B

文章编号:1006-8759(2017)01-0048-04

APPLICATION ON FLUE GAS PURIFICATION TECHNOLOGY OF CHAIN BOILER FOR COAL MINE

GU Song

(Huainan Coal Mining Group Corporation Ltd, huainan 232001,China)

Abstract: The flue gas purification process of SNCR - bag filter - induced draft fans - wet calcium desulphurization tower - chimney was used for treating the chain boiler with scale of 3×25 t/h in Xieyi coal mine. After purifying the boiler flue gas, the lowest removal rate of desulfurization, dust removal and denitration were 90 %, 99 % and 25 %, which satisfied the revised emission standard of air pollutants for coal-burning (GB13271-2014). Economic benefit analyses show that the flue gas purification process can remove the sulfur dioxide, dust and nitrogen oxides at 1 452 t, 2 661 t, and 54 t. As a result, the pollution charge of 2,339,400 yuan can be saved and the coal mine can obtain outstanding benefits of society environment and economy.

Key words: Boiler flue gas; Wet calcium desulfurization; Bag-type strainer; Selective non-catalytic reduction

我国目前在用燃煤工业锅炉烟尘排放约占全国排放总量的 44.8 %, 二氧化硫排放量占全国排放总量的 36.7 %, 燃煤锅炉污染物排放远超煤电,尤其是占比高达 80 % 容量小于 10 吨/小时的锅炉,更是锅炉排放污染物的主要来源^[1-2]。2013 年 6 月 14 日国务院常务会议部署大气污染防治十条措施,第一条就提到“全面整治燃煤小锅炉”。之后国务院发布的《大气污染防治行动计划》(“气十条”)第一条也对全面整治燃煤小锅炉进行了部署,并明确要求:到 2017 年,除必要保留的以外,

地级及以上城市建成区基本淘汰每小时 10 蒸吨及以下的燃煤锅炉,禁止新建每小时 20 蒸吨以下的燃煤锅炉;其他地区原则上不再新建每小时 10 蒸吨以下的燃煤锅炉。据此,淮南矿业(集团)有限责任公司谢一矿对现有 6 台 10 t/h 小型链条炉排锅炉进行淘汰,并新设 3 台 25 t/h 链条炉排锅炉,由于原锅炉烟气净化工艺采用水膜除尘脱硫技术,无脱硝措施,锅炉烟气处理后烟尘排放浓度为 80~180 mg/Nm³, 二氧化硫排放浓度为 1 500~2 600 mg/Nm³, 氮氧化物排放浓度为 260~450 mg/Nm³,而谢一矿锅炉将于 2015 年 10 月 1 日起执行重新修订后的《锅炉大气污染物排放标准》

(GB13271-2014)标准,对应的标准值:烟尘排放浓度为 50 mg/Nm³,二氧化硫排放浓度为 300 mg/Nm³,氮氧化物排放浓度为 300 mg/Nm³。与新标准对照,原水膜脱硫除尘工艺不能稳定达标,二氧化硫和烟尘的差距很大,必须重新进行烟气净化处理。

1 主要设计指标

根据对谢一矿燃煤含硫量的分析,本项目燃煤含硫量在 0.4~1.56%,物料消耗按 0.85%考

表 1 主要设计指标

项目	单位	参数
锅炉蒸发量	t/h	25
锅炉燃煤消耗量(单台)	t/h	3.4
锅炉工况烟气量	m ³ /h	65000
锅炉年运行时间	h/a	3840
锅炉烟气量	Nm ³ /h	46680
烟气温度	℃	160
锅炉炉膛温度	℃	820
燃煤含硫 SY	%	1.0
SO ₂ 原始浓度	mg/Nm ³	3000
烟尘原始浓度	mg/Nm ³	5000
脱硫除尘塔出口 SO ₂ 浓度	mg/m ³	≤300
脱硫除尘塔出口粉尘浓度	mg/m ³	≤50
NO _x 原始浓度	mg/Nm ³	400
锅炉出口 NO _x 浓度	mg/m ³	≤300
NO _x 排放浓度	mg/Nm ³	≤300
SO ₂ 排放浓度	mg/Nm ³	≤300
烟尘排放浓度	mg/Nm ³	≤50
设计脱硝效率	%	≥25
设计脱硫效率	%	≥90
设计脱硫效率	%	≥99

虑,项目主要设计指标如表 1 所示。

2 工艺选择

烟气脱硫技术主要有湿法、半干法和干法三种,根据谢一矿所用燃煤的含硫量以及脱硫效率,本项目烟气脱硫技术选用湿法脱硫。湿法脱硫主要又分为钠碱法脱硫,钙法(石灰石-石膏法)脱硫,氨法脱硫,氧化镁法脱硫,双碱法脱硫等。钠碱法脱硫效果好,但吸收剂成本高;氨法脱硫控制难,容易引起氨逃逸,对小锅炉不适应;氧化镁法脱硫效果好,但氧化镁来源受限,费用较高;双碱法脱硫系统复杂,稳定性差;钙法脱硫效果好,技术成熟,吸收剂来源广,目前国内应用最广^[3-4]。本

项目使用钙法脱硫。

除尘技术主要有湿法除尘,电除尘和布袋除尘。湿法除尘投资省,运行简便,但处理效果差,波动大,难以稳定达标。电除尘阻力小,技术成熟,处理效果较好,但投资大,耗电高,本项目应用需用三电场,位置摆不下。布袋除尘技术成熟,除尘效果好,现有场地可布置,投资较大^[5]。经综合考虑处理效果、现场场地情况、投资和运行成本等因素,本项目选用布袋除尘技术。

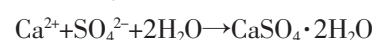
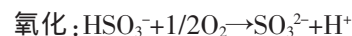
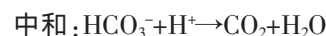
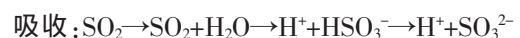
烟气脱硝技术主要有四种,一是选择性催化还原反应法(SCR),二是选择性非催化还原法(SNCR),三是最新发展起来的 SNCR/SCR 联合法,四是臭氧氧化法。SCR 脱硝效率高(脱硝效率达 90%),技术成熟、使用广泛,但投资大(是 SNCR 的 3~4 倍)、运行费用较高,新增阻力大。SNCR 具有系统简单、投资运行费用低、不新增阻力、改造方便,尤其适用于无足够空间的老机组改造,但由于受到氨逃逸的限制,脱硝效率相对较低。臭氧氧化法工艺简单,但技术不太成熟,耗电量大,氧化形成的 NO₂ 腐蚀性强,要靠后面的湿法脱硫来吸收,形成的废水很难处理^[6-8]。本项目要求的脱硝效率不高,为节约投资,并考虑脱硝系统的稳定性、场地局限性以及锅炉的特点,项目设计采用低氮燃烧+SNCR 脱硝工艺。

本项目总处理工艺为:SNCR-布袋除尘-引风机-湿式钙法脱硫塔-烟囱。

3 工艺流程

3.1 脱硫除尘

石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺主要是粉状石灰石与水混合搅拌制成吸收浆液。在吸收塔内,吸收浆液与烟气接触混合,烟气中的二氧化硫与浆液中的碳酸钙以及鼓入的氧化空气进行化学反应被吸收脱除,最终产物为石膏。该工艺的反应机理为:



布袋除尘的工作机理是含尘烟气通过过滤材

料,尘粒被过滤下来,过滤材料捕集粗粒粉尘主要靠惯性碰撞作用,捕集细粒粉尘主要靠扩散和筛分作用。

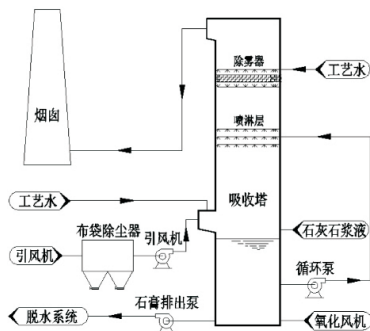
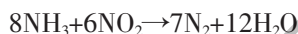
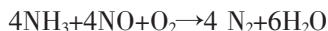


图1 脱硫除尘工艺流程

本项目设计采用三炉两塔工艺,烟气脱硫除尘工艺流程如图1所示。

3.2 脱硝

SNCR技术是把含有NH_x基的还原剂(如氨气、氨水或者尿素等)喷入温度为800~1250℃的区域,该还原剂迅速热分解成NH₃和其它副产物,随后NH₃与烟气中的NO_x进行SNCR反应生成N₂。以氨水为还原剂的主要方程式为:



SNCR还原NO的反应对于温度条件非常敏感,还原剂喷入点的选择,也就是所谓的温度窗口

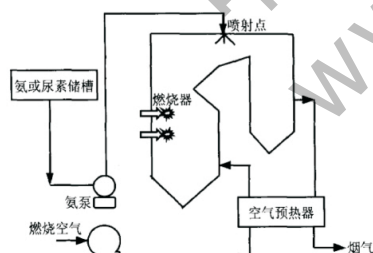


图2 SNCR工艺流程

的选择,是SNCR还原NO效率高低的关键。SNCR流程如图2所示。

4 主要系统组成

4.1 脱硫系统

石灰石浆液制备系统:石灰石浆液制备系统主要包括石灰石粉仓、星型给料机、泵和搅拌器以及管道系统。石灰石粉仓设计容量为60m³,可满足按3台锅炉在BMCR工况运行5天,石灰石粉

仓仓顶设自动脉冲反吹布袋除尘器,贮仓上配有用来确定容积的导波雷达式料位计。星型给料机用于输送石灰石粉至石灰石浆液制备箱,容量按石灰石制浆系统要求的石灰石给料量确定为1t/h。石灰石浆液箱有效容积按不小于3台锅炉BMCR工况的6小时的石灰石浆液量设计。浆液箱内的石灰石浆液的浓度控制在20~30%(Wt)之间。石灰石浆液箱内设一台搅拌器,其设计和布置保证浆液浓度的均匀及防止浆液沉降结块。

烟气系统:本项目烟气系统按三炉两塔方案设计,锅炉烟气进入布袋除尘器后进入引风机,出口送入脱硫塔,与喷淋液逆向接触得到冷却,SO₂和其他酸性气体在吸收塔内被脱除掉,净烟气经塔顶排入大气。烟气系统主要由烟气膨胀节、净烟气手动挡板、除尘器前烟道、除尘器后烟道等组成。烟道共设3套,最小壁厚按5mm设计,烟道内烟气流速按不超过15m/s设计,防腐设计采用内衬鳞片树脂进行防腐保护。

吸收塔系统:吸收塔系统主要由吸收塔、喷淋层、喷嘴、除雾器、侧进式搅拌机、浆液循环泵、石膏排出泵、氧化风机及曝气喷头等组成。吸收塔采用喷淋空塔,共设2座,尺寸分别为Φ2.8×21m和Φ3.5×21.5m,吸收塔壳体由碳钢制做,内表面采用玻璃鳞片防腐。喷淋层及喷嘴系统设三层喷淋层,每个喷淋层间距1.5m,喷淋层上共计安装102只螺旋喷嘴,流量为330L/min,喷嘴材料为SiC,该喷嘴在较低的压力下可使喷出的浆液喷射角度精确而且雾化效果好,提高了浆液的喷淋速率。除雾器安装在吸收塔上部,用以分离净烟气夹带的雾滴,除雾器出口烟气湿度不大于75mg/Nm³(湿基),材质为2级聚丙烯,形式为平板式,冲洗用水为FGD工艺水,并由单独设置的除雾器冲洗水泵提供。浆液循环泵安装在吸收塔旁边,用于吸收塔内石膏浆液的循环,采用单流和单级卧式离心泵,每塔配备3台浆液循环泵,循环泵叶轮采用防腐耐磨的材料加工而成,单台参数为:Q=250/400m³/h,H=21m/21.5m,P=32KW/45KW。在吸收塔浆液池的下部,共布置了6台侧进式搅拌器,搅拌器叶片安装在吸收塔浆液池内,搅拌桨型式为三叶螺旋桨,优化的搅拌器设计可有效防止浆液沉降。氧化风机是为吸收塔浆液箱中的浆液提供充足的氧化空气,使吸收塔内的亚硫酸钙充分

转化成硫酸钙,氧化风机共设2台,采用罗茨风机,单台参数为: $Q=60\text{ Nm}^3/\text{min}$, $H=75\text{ kPa}$, $P=11\text{ KW}$ 。石膏排油泵安装在吸收塔旁边,1用1备,叶轮采用防腐耐磨的材料加工而成,主要参数为: $Q=10\text{ m}^3/\text{h}$, $H=15\text{ m}$, $P=3\text{ kW}$ 。

工艺水系统:工艺水主要用于管路和水泵冲洗、制备石灰石浆液、冲洗除雾器、氧化空气增湿以及保持吸收塔反应池液位。本项目设置3台工艺水泵,预留一台工艺水泵位置;单泵容量按1套脱硫系统100%BMCR工况的用水量设计,主单台参数为 $Q=20\text{ m}^3/\text{h}$, $H=45\text{ m}$, $P=5.5\text{ KW}$ 。工艺水箱为碳钢结构,其可用容积为 20 m^3 ,可满足3台锅炉同步进行脱硫运行2小时的最大工艺水耗量。

压缩空气系统:压缩空气气源从厂内压缩空气引入,压缩空气压力 0.6 MPa 。脱硫岛内设置一个仪用储气罐,用于气动门气源、CEMS吹扫、石灰石粉仓流化等用气。

脱硫系统中的石膏脱水系统和废水处理系统利用原锅炉烟气处理设施。

4.2 除尘系统

除尘系统主要包括布袋除尘器、引风机以及相关挡板及管路系统。布袋除尘器和引风机各设3台,滤袋面积为 120 m^2 ,引风机单台参数为: $Q=75\text{ 000 m}^3/\text{h}$, $H=4\text{ 500 Pa}$, $P=160\text{ kW}$ 。

4.3 SNCR系统

氨水储存系统:氨水储存系统由氨水储罐和卸料泵组成,氨水储罐1套,采用304不锈钢材质,有效容积为 20 m^3 ,可满足3台炉连续运行7天用量,卸料泵1台,主要卸来自槽罐车的氨水,单台参数为: $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ m}$, $P=3\text{ kW}$ 。

在线稀释系统:氨水线稀释系统主要用来保证在运行工况变化时喷嘴中流体流量基本不变。系统设有过滤器、2台稀释水泵,2台氨水输送泵。流量余量大于10%,压头大于20%。稀释水泵单台参数为: $Q=0.6\text{ m}^3/\text{h}$, $H=130\text{ m}$, $P=1.5\text{ kW}$,氨水输送泵单台参数为: $Q=0.5\text{ m}^3/\text{h}$, $H=130\text{ m}$, $P=1.1\text{ kW}$ 。

喷射系统:喷射系统主要实现各喷射层的氨水溶液分配、雾化喷射和计量。喷射器采用气力雾化,由喷射器本体、喷嘴座、雾化头、喷嘴罩四部分组成。每台锅炉在锅炉炉膛布置4套喷枪,单套喷枪的喷射流量为 40 L/h 。

5 经济效益分析

5.1 运行成本

表2 烟气净化运行成本分析

项目	消耗量	单价	费用/万元
石灰石	90t/h	200元/t	20.60
除盐水	72kg/h	3元/t	0.25
压缩空气	60m ³ /h	5.2kW·h	2.04
氨水	24kg/h	900元/t	24.88
脱硫除尘电耗	180kW·h	0.5元/kW·h	103.68
脱硝电耗	11kW·h	0.5元/kW·h	6.34
工艺补充水	8t/h		
人工	3人	5万元/人	15
折旧	12年	周期均摊	61.29
维修		1%总投资	10.34
年运行总成本			244.42

注:1、石灰石纯度以85%计;氨水浓度以20%计;2、压缩空气每立方米折算耗电 $5.2\text{ kW}\cdot\text{h}$;3、工艺补充水采用冲渣循环水,水费不计。

本项目总投资1034万元。三台锅炉的运行时间为一台运行8个月,另外两台运行4个月,三台锅炉折算成一台锅炉的年运行总时间为 $3\times 840=11\text{ 520}$ 小时。项目运行成本详见表2。

从表2中可以看出,本项目年运行成本244.42万元,其中脱硫除尘直接年运行成本: $20.6+103.68+15=139.28$ 万元,折合每吨脱硫除尘成本: $1\text{ 392}\text{ 800}/1\text{ 452}=959$ 元;脱硝直接运行成本: $0.25+2.04+24.88+6.34=33.51$ 万元,折合每吨脱硝成本: $335\text{ 100}/54=6\text{ 206}$ 元。

5.2 效益分析

锅炉燃煤量以 3.4 t/h 计,燃煤含硫量按平均值0.85%考虑,项目每年可脱除二氧化硫1452吨,烟尘2661吨,氮氧化物54吨,有效减少了对当地区域大气环境的污染,提高了企业的可持续发展能力和竞争实力,环境效益和社会效益显著。依据国家最新颁布的锅炉烟气排污收费标准,项目每年可少交二氧化硫排污费: $1\text{ 452}\times 1\text{ 200}=174.24$ 万元,烟尘排污费: $2\text{ 661}\times 200=53.22$ 万元,氮氧化物排污费: $54\times 1\text{ 200}=6.48$ 万元,总计免交排污费233.94万元,经济效益明显。

6 结论

谢一矿 $3\times 25\text{ t/h}$ 链条锅炉采用SNCR-布袋除尘-引风机-湿式钙法脱硫塔-烟囱的烟气净化工艺,该技术工艺流程简单,针对性强,能够与谢

(下转第47页)

液,通过除雾器的液滴含固量理论约 20 %×37.35 % = 7.5 % (增加凝并装置可小于 7.5 %)。

经除雾后,烟气中残余液滴携带的可溶固体;
 $C_3 = 20 \times 1 \% = 0.2 \text{ mg/Nm}^3$

说明:一般情况下,在冲洗时冲洗水中含有的微量无机盐才会对其产生影响,且冲洗水质优良可忽略不计,这里按取 1 %。

经除雾器后残余的粉尘; $C_4 = 3 \times 10 \% = 0.3 \text{ mg/Nm}^3$

说明:按除雾器厂家最保守值估算。

净烟气中总的粉尘含量如下:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 - C_4 = 3 + 1.5 + 0.2 - 0.3 = 4.4 \text{ mg/Nm}^3 < 5 \text{ mg/Nm}^3$$

4 改造后效果分析

该电厂脱硝脱硫除尘超洁净改造 #3 机组于 2016 年 3 月 20 日开工,至 2016 年 5 月 15 日封塔具备运行条件,改造总工期 55 天。本次改造实施完成后机组启动一次成功,各改造、新增设备均实现正常投运。目前 #3 机组投运已有三个多月,烟囱处烟气污染物排放实测值 NO_x 基本在 35 mg/Nm₃ 以下,SO₂ 基本在 10 mg/Nm₃ 以下,烟尘基本在 3.9 mg/Nm₃ 以下,完全达到并优于改造目标。

5 总结

本文以某百万机组电厂污染物超低排放改造为例,重点介绍了 1 000 MW 燃煤机组主要污染物深度治理技术措施,研发的单塔一体化脱硫除

尘深度净化技术为电厂实现 SO₂ 和烟尘的深度净化提供了创新性的一体化解决方案,集成应用的效果实现了节能与环保的有机组合。改造实施后机组稳定运行,各项污染物排放浓度均优于燃气机组排放指标,实现了近零排放(烟尘:5 mg/m³、SO₂:30 mg/m³、NO_x:50 mg/m³)。此外,气液平衡湍流装置及凝并装置等设备均为行业领先且具有代表性的新技术,对现役机组提效改造及新建机组实现深度净化具有良好的推广价值。

参考文献

[1] 《中国能源统计年鉴》编委会.中国能源统计年鉴 2013[Z].北京:国家统计局能源统计司,2013

[2] 岑可法,姚强,等.燃烧理论及污染控制[M].北京:机械工业出版社,2014

[3] 江泽民.对中国能源问题的思考[J].上海交通大学学报,2008,42(3):345-359

[4] 翟德双.燃煤电厂锅炉超净排放技术改造探讨[J].华东电力,2014,42(10):218-222

[5] 李春雨.SCR 脱硝催化剂研究及产业现状分析与应用[J].能源与节能,2014,(1):60-64

[6] 叶道正.单塔双区高效脱硫技术在火力发电厂中的应用[J].中国电业,2014,8:57-59

[7] 王国强.单塔双循环脱硫技术在 300MW 燃煤锅炉中的应用[J].重庆电力高等专科学校学报,2013,18(3):51-54

[8] 新亚琼.湿法烟气脱硫技术研究现状及进展 [J]. 科技与企业,2015,(1):221

[9] 岳焕玲,原永涛,宏哲,等.石灰石-石膏湿法烟气脱硫喷淋塔除尘机理分析[J].电力科技与环保,2006,22(6):13-15

[10] 王焱,刘进军,等.吸收塔除雾器优化设计和运行维护[J].山东工业技术,2016(10):42-43

(上接第 51 页)

一矿现有实情相契合。在锅炉燃煤量 3.4 t/h,燃煤含硫量 0.85 % 的情况下,项目每年可脱除二氧化硫 1 452 吨,烟尘 2 661 吨,氮氧化物 54 吨,环境和社会效益明显,锅炉烟气经净化后满足修订后的《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-2014)。项目年运行总成本 244.32 万元,每年可免交排污费 233.94 万元,经济效益明显。

本项目目前已完成所有建安工程,正处于系统联合调试过程中。

参考文献

[1] 生明亮,原永涛,刘凤,等.燃煤锅炉污染物排放对雾霾产生的影响以及治理措施[J].山东化工,2015,

44(1):145~147.

[2] 于洪海.工业燃煤锅炉烟气联合脱硫脱氮技术研究与应用[J].环境科学导刊,2015,34(3):78~80.

[3] 翟德双.燃煤电厂锅炉超净排放技术改造探讨[J].华东电力,2015,42(10):2218~2221.

[4] 任岷,姜晓灵.中小化工燃煤锅炉烟气脱硫技术路线的选择[J].化工环保,2011,31(3):226~229.

[5] 张俊霞.燃煤锅炉烟气除尘方案的选择[J].化肥工业,2014,41(4):30~33.

[6] 钟秦.燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实践[M].北京:化学工业出版社,2002.

[7] 颜学升,高琴,张廷发,等.燃煤锅炉烟气脱氮技术[J].锅炉技术,2010,41(2):76~80.

[8] 高宏亮,覃海华,郭静.燃煤工业锅炉烟气湿法脱硫脱硝技术探讨[J].工业安全与环保,2011,40(5):12~14.