

火力发电厂高效脱硫及除尘一体化超洁净技术研究及应用

王正峰, 邹竟成

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]文章主旨为满足国家对火力发电厂烟气污染物排放“超洁净”排放指标的要求。[方法]通过对广东某火力发电厂除尘和脱硫技术进行研究,提出了高效脱硫及除尘一体化超洁净技术,并在该电厂顺利应用。在常规烟尘和SO₂ 脱除方案的基础上,通过对已有除尘和脱硫设备进行一体化设计和优化,并增加 MGGH 装置和电除尘除雾装置,协同对污染物包括烟尘和 SO₂ 进行脱除,并提高烟囱出口烟气温度,减少烟气中液滴和烟尘浓度。[结果]机组投运后,实测烟囱出口烟尘和 SO₂ 排放浓度为 2.2 mg/Nm³ 和 16.7 mg/Nm³,满足并优于火力发电厂“超洁净”排放的要求,且消除了烟囱出口的“石膏雨”现象。[结论]应用该项技术,可以在不设置湿式除尘器的条件下即可满足“超洁净”的排放要求,对新建或改造项目有很好的指导和借鉴意义。

关键词: 超洁净; 高频电源; MGGH; 脱硫吸收塔

中图分类号: TM611; X773

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0029-08

Research and Application on Integration of High-efficiency Desulphurization and Ultra-clean Dust Elimination Technology in Thermal Power Plant

WANG Zhengfeng, ZOU Jingcheng

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] Aiming to satisfy the state's "ultra-clean" emission requirements for the emission of flue gas pollutants from thermal power plants. [Method] With the research on the technology of dust removal and desulphurization in a thermal power plant in Guangdong, an integration ultra-clean technology of high-efficiency desulphurization and ultra-clean dust elimination has been put forward and applied successfully. Based on the conventional scheme on dust removal and desulphurization, the integration of high-efficiency desulphurization and ultra-clean dust elimination technology was researched and optimized, and the equipment of MGGH and electrostatic dust and mist eliminator was added. The dust and sulfur dioxide was removed synergistically, and the temperature of flue gas outlet of the chimney was improved, and the concentration of liquid drop and dust was reduced. [Result] The results shows that the concentration of dust and sulfur dioxide is only 2.2 mg/Nm³ and 16.7 mg/Nm³. It means satisfy and is better than the requirement of "ultra-clean", and the gypsum rain is eliminated. [Conclusion] With this technology, it is possible to satisfy the "ultra-clean" emission requirements without WESP, and it is a guidance for the newly-build and reformed project.

Key words: ultra-clean; high frequency electrical source; MGGH; absorption tower of desulphurization

据 2013 年数据,煤炭占我国一次能源消费的比例约为 67%。在利用煤炭的过程中,产生了大量的污染物如 SO₂ 和粉尘等,其中燃煤火力发电厂是

污染物排放控制的重点行业之一^[1]。

随着国家对大气污染治理力度的不断加大,作为治理大气污染重点控制的火力发电厂,其烟气排放污染物指标越来越严格。根据最新的国家标准《火力发电厂污染物排放标准》(GB 13223—2011)(以下简称《污染物排放标准》)的规定,重点地区的燃煤火力发电厂的烟囱出口 SO₂ 和烟尘排放

收稿日期: 2018-01-12 修回日期: 2018-04-05

基金项目: 中国能建广东院科技项目“烟气污染物超洁净排放技术”(EX03571W)

限值分别为 50 mg/m^3 和 20 mg/m^3 ^[2]。“《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》”(国家三部委印发,以下简称《行动计划》)指出,东部地区(北京、上海、广东等11省市)新建燃煤发电机组烟囱出口大气污染物排放值基本达到燃气轮机组排放标准(即在6%基准氧含量条件下,烟尘不高于 10 mg/m^3 , SO_2 不高于 35 mg/m^3)。

1 国内外电厂污染物治理和排放现状

目前国内外火力发电厂常规采用的烟气污染治理技术方案,是对烟尘和 SO_2 单独治理,即采用除尘器装置(包括静电除尘器、袋式除尘器和湿式除尘器等)控制烟尘排放浓度,采用脱硫装置(一般采用湿法脱硫)控制 SO_2 排放浓度。这种常规方案,理论分析上可以满足目前污染物排放标准,从实际运行来看,指标上也取得了不错的效果。为了满足近年来提出的“超洁净”中烟尘 10 mg/m^3 的排放要求,火电厂采用的策略大多是在脱硫装置后增加湿式除尘器装置,设备投资高,运行维护量也较大。

另外,由于我国火电机组基本上都采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫(WFGD)技术,吸收塔出口烟气温度在 $45 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$,因此烟囱排烟温度较低,属于湿饱和状态^[3],且近年来新建机组大多不装GGH,在运机组得GGH也大多已经拆除,烟囱出口排放的烟气为饱和湿烟气,温度低,烟气无法有效抬升和扩散,烟气中的石膏浆液滴在烟囱出口附近聚集,落地形成“石膏雨”现象^[4]。

为了在不采用湿式除尘器这类设备投资较高的

前提下,满足火电厂“超洁净”排放的要求,且减少和消除“石膏雨”现象,本文结合广东某660 MW燃煤电厂,在常规烟尘和 SO_2 脱除方案的基础上,通过对已有除尘和脱硫设备进行一体化设计和优化,并增加MGGH装置和电除尘除雾装置,协同对污染物包括烟尘和 SO_2 进行脱除,并提高烟囱出口烟气温度,减少烟气中液滴和烟尘浓度,满足火力发电厂“超洁净”排放的要求,且消除烟囱出口的“石膏雨”现象。

2 工程概况及煤质资料

锅炉主机为超超临界变压运行直流炉、一次再热、烟气挡板调节再热汽温、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢结构、全悬吊结构 π 型锅炉。

烟风系统采用平衡通风方式;除尘器为静电除尘器,所有电场电源均采用高频电源;设置MGGH烟气换热装置烟囱排烟温度;烟气脱硫采用湿法脱硫工艺,不设脱硫增压风机,不设烟气旁路。

设计煤种为淮南烟煤,校核煤种1为神华混煤,校核煤种2为晋北烟煤,燃料成分分析如图1所示(表中数值依次为烟气、烟尘浓度、 SO_2 浓度)。

3 系统实施方案流程

广东某660 MW燃煤电厂,在常规烟尘和 SO_2 脱除方案的基础上,通过对已有除尘和脱硫设备进行一体化设计并优化,另增加MGGH装置和电除尘除雾装置,一体化设计和优化后的流程和主要参数如表1所示。

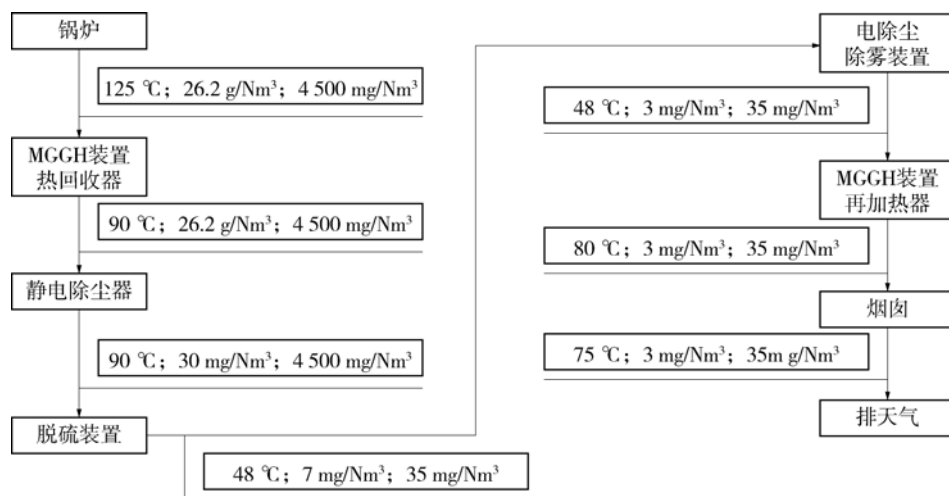


图1 一体化后流程和主要参数

Fig. 1 Process and main parameters after integration

表 1 煤质资料

Tab. 1 Data of the coal

项 目	符号	单位	设计煤种(淮南烟煤)	校核煤种 1(神华混煤)	校核煤种 2(晋北烟煤)
收到基水分	Mar	%	7.46	17.50	10.05
空气干燥基水分	Mad	%	1.67	11.00	2.85
收到基灰分	Aar	%	22.31	8.25	25.09
干燥无灰基挥发份	Vdaf	%	39.28	35.00	28.00
收到基碳	Car	%	58.34	58.60	53.41
收到基氢	Har	%	3.63	3.71	3.06
收到基氧	Oar	%	6.58	10.20	6.64
收到基氮	Nar	%	1.03	0.83	0.72
收到基全硫	St, ar	%	0.65	0.91	1.03
收到基低位发热量	Qnet, ar	MJ/kg	22.36	23.00	20.35
哈氏可磨系数	HGI	—	60.00	55.00	57.00
二氧化硅	SiO ₂	%	58.50	29.80	50.41
三氧化二铝	Al ₂ O ₃	%	30.00	13.00	15.73
三氧化二铁	Fe ₂ O ₃	%	3.50	15.00	23.46
氧化钙	CaO	%	2.20	28.00	3.93
氧化镁	MgO	%	1.50	1.20	1.27
氧化钠	Na ₂ O	%	0.60	1.00	2.33
氧化钾	K ₂ O	%	0.85	1.00	—
二氧化钛	TiO ₂	%	1.50	—	—
三氧化硫	SO ₃	%	1.35	11.00	9.30
其他	-	%	—	-	—
变形温度	DT	℃	≥ 1 500	1 100	1 300
软化温度	ST	℃	≥ 1 500	1 150	1 390
流动温度	FT	℃	≥ 1 500	1 190	1 470

4 静电除尘器的优化

4.1 静电除尘器技术原理

静电除尘器在国内外燃煤电厂中普遍采用, 技术最为成熟, 可以配套各种机组容量, 目前配套最大机组容量为 1 000 MW 级。对于燃煤电厂的烟气, 粉尘特性、烟气流速、比集尘面积、电场参数自动控制水平等是影响除尘器收尘效率的几项主要因素^[5]。

电除尘器的除尘原理是利用静电力将气体中的粉尘或液滴分离出来^[6]。电极在烟气中放电, 烟气中的粉尘荷上电荷, 带电粉尘在电场力的驱动下向电极移动, 烟尘被集尘极捕获并收集。

4.2 除尘器优化方案

4.2.1 “低低温”除尘技术

大部分煤的飞灰比电阻有一个规律, 在 130 ~

180 ℃左右比电阻最高, 在 100 ℃以下或 300 ℃以上比电阻又明显降低。较低的飞灰比电阻能提高静电除尘器的效率或者降低电除尘器能耗(除尘效率不变), 利用飞灰比电阻随温度变化的特性, 可以控制除尘器入口温度, 不需要添加调质剂就可以达到类似烟气调质的效果, 实现节能降耗的目的。

通常燃煤电厂的静电除尘器的工作温度为 110 ~ 150 ℃, 高于此温度范围的称为“高温型”, 工作温度范围一般为 300 ~ 400 ℃, 低于常规温度范围的称为“低温型”, 工作温度约 90 ℃。燃煤电厂的静电除尘器工作温度大多与粉尘比电阻最高的温度区间接近, 所以增加了荷电的困难, 容易发生“反电晕”, 粉尘在极板上的振打也困难。

“低温型”静电除尘器是将烟气换热器设置在除尘器入口, 烟气被换热器吸收热量后温度降低到 90 ~ 100 ℃, 粉尘比电阻降低, 有利于除尘效率的

提高。除尘器入口烟气温度降低后,容积相应减少,增加了粉尘在除尘器内的停留时间,除尘效率进一步提高,且达到节能降耗的目的。

4.2.2 高频电源技术

电除尘器高频电源是一种逆变式电源,利用高频开关技术,其供电电流由一系列窄脉冲构成,可以提供各种电压波形,幅度范围从近似纯直流到很大脉动幅度^[7]。高频电源原理如图2所示。

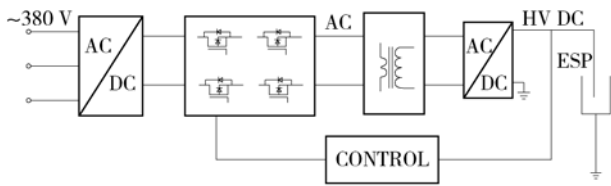


图2 高频电源原理

Fig. 2 Principle of high frequency electrical source

除尘器的部分或所有电场装设高频电源后,前电场的收尘效率大幅提高,对后电场的稳定运行也有一定帮助。与常规静电除尘器工频电源相比,高频电源可以做到无火花运行或者少火花运行,这也一定程度上保证了电场能量的无谓消耗,不仅保证电场稳定运行,还节约一定的电耗。

高频电源作为节能型电源,其主要优点为效率高、损耗低、功率因数高,特别对于灰比电阻较高的烟气,其窄电流脉冲和宽调节范围的特性,可以显著提高除尘效率。据运行测试,采用高频电源后,节能效率可以达到40%以上,最高可以到90%,是对于高比电阻煤种,节能效果显著,其节电原理主要体现为:

1) 功率因数和转换效率高

常规工频电源转换效率与功率因数仅为0.70~0.75,而高频电源设备能达到0.9以上^[8],且由于采用三相电源,负载更平衡,电源的整体控制水平显著提高,适应范围更宽,相同除尘效率下,采用高频电源较工频电源能节省电耗20%以上,在低负荷工况下,其节能效果更加显著。

2) 平均电压高

由静电除尘的原理可知,除尘效率与电场间运行电压值的平方成正比。

若采用工频电源,电除尘器在峰值电压运行时电场中容易触发火花。为减少甚至避免触发火花,电极上的运行平均电压值有所限制。由于电压谷值和峰值相差较大,频率较低,因此平均电压值低。若采用高频电源,谐振频率约3~4万Hz,波系数小于3%^[9],二次电压波形几乎为平直线,输出电压波动很小,除尘器运行电压值略低于火花发生点电压值即可,因此供电电压和电流平均值都较高,功率的输入增大,除尘效率得到提高。高频电源与工频电源电压的对比如图3所示。

3) 电压波形多

高频电源能提供各种电压波形,针对各种运行需求,选择最适宜的波形,提高了除尘效率。

除尘器供电方式有纯直流供电和间歇供电,可以通过电源控制终端或上位机进行选择,且可手动切换。

纯直流供电时,其输出电压近似水平直线,除尘器的运行平均电压值和电流值得到提高,因此适用于灰比电阻中等的烟气。

间歇供电时,供电时间任意可调,其更窄的脉冲宽度、更宽的脉冲频率范围和更陡峭的电压上升

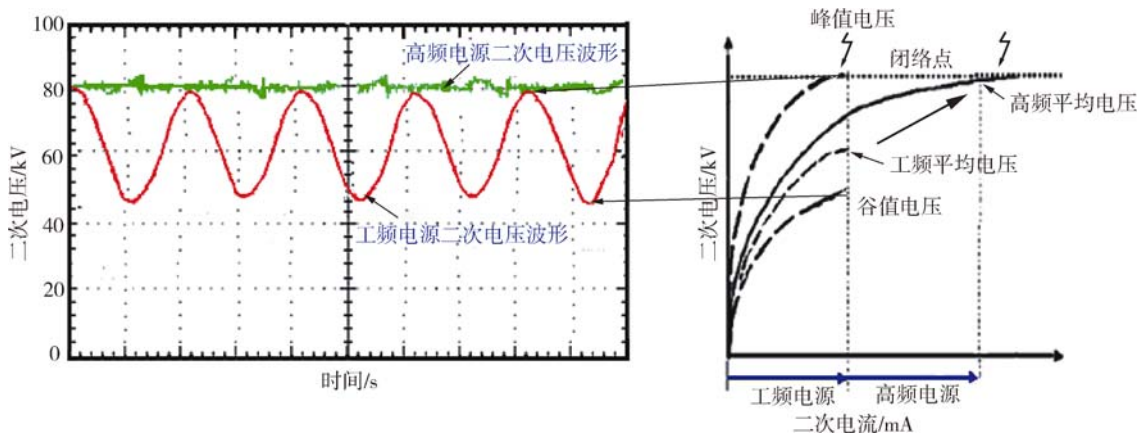


图3 高频与工频电源电压

Fig. 3 Voltage of high frequency and power frequency electrical source

率,可以减少甚至避免反电晕的发生,除尘效率得到提高。粉尘比电阻较高时,更具反电晕严重程度,设备自动选择间歇供电模式,并采用最佳脉冲宽度和频度,实现最佳除尘效果,且可以大量节能。

4.2.3 智能控制软件调整运行参数

高频电源是除尘器提效和节能的硬件条件,但机组在实际运行时,烟气的工况会经常波动,若采用人工经验进行调节,很难实时跟踪运行工况变化并及时进行调整。为了稳定运行时避免除尘器电场被击穿,其运行电压值应比火花发生电压值略低。对于不同的煤种和烟气参数,最优能效对应的波形和运行电压值也不同,仅根据来自浊度仪的反馈信号对电源参数进行调整,高频电源的节能优势很难充分发挥出来。因此需要配备智能型实时控制软件,智能控制软件需要具备获取设备运行信息并智能分析、自动选择运行方式功能、结合振打工况调节参数等能力,从而充分发挥高频电源的节能优势。

4.3 优化后电除尘器的性能指标

一般燃煤中的灰分含量越大,则电除尘器的入口含尘浓度会越高。本工程拟燃用的3个煤种的灰分含量为:设计煤种、校核煤种1和校核煤种2的灰分分别为22.31%、8.25%和25.09%。

本工程采用五电场低低温加高频电源高效干式静电除尘器,所有电场装设高频电源并配套智能型实时控制软件,显著提高除尘效率,并且大大扩展了静电除尘器对煤种的适应性。根据机组投运后的实测数据,除尘器效率可以达到99.97%~99.99%,出口浓度设计值为不高于30 mg/Nm³,运行实测值低于15 mg/Nm³,且能降低电耗40%以上。

5 设置 MGGH 热媒体换热装置

MGGH 是日本三菱公司最先应用。在日本所有的湿法烟气脱硫工艺均设置烟气加热器,而日本三菱公司开发的湿式石灰石石膏法烟气脱硫工艺采用无泄漏,即原烟气加热热媒水,然后用热媒水加热脱硫后的净烟气^[10]。

MGGH 热媒体换热装置是一个闭式循环系统,主要由热回收器(MGGH-H/E,第一级换热器)、再加热器(MGGH-R/H,第二级换热器)、热媒辅

助加热器、循环水泵、热媒体平衡罐、疏水加热器、清灰装置及热媒体循环旁路、加药罐以及其它辅助系统组成。换热器和再热器间的中间传热媒介为除盐水,在循环水泵的作用下,流经布置于电除尘器入口处的热回收器,吸收烟气放出的热量,然后将热量带至布置于脱硫除雾器后的再加热器中加热脱硫后的烟气,有效减轻甚至消除常规火力发电厂烟囱出口的“石膏雨”现象。MGGH 主要流程及参数如图4所示。

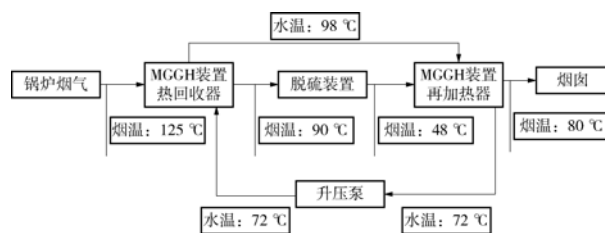


图4 MGGH 流程及主要参数

Fig. 4 Process and main parameters of MGGH

热回收器(第一级换热器)在空预器和电除尘器之间的烟道上布置,烟气温度从125℃降低到约90℃;在脱硫塔出口与烟囱之间的烟道上设置再加热器(第二级换热器),烟气温度从48℃提高到80℃。烟气温度提高后,有利于减少和消除烟囱出口由于大量水汽排放出现的“石膏雨”现象。

6 脱硫吸收塔的优化

6.1 常规脱硫塔的技术原理

吸收塔的主要作用是脱除烟气中的SO₂,产生副产品石膏。工艺流程为:未脱硫烟气从吸收塔循环浆池上部的入口烟道进入塔内,向上流动进入吸收区,与喷淋层喷出的雾状浆液接触,同时吸收烟气中的SO₂。石灰石浆液在泵入吸收塔循环浆池后,由循环泵吸出,经循环管道进入喷淋层。喷淋层上布置有数量足够而且分布均匀的碳化硅喷嘴,能将浆液雾化成较细小的液滴,有利于烟气中SO₂的充分脱除。循环浆池位于吸收塔下部,为了利于石膏的结晶其容积应使浆液有足够的停留时间,石灰石能被充分吸收。两级除雾器布置在吸收塔顶部,可以除去烟气携带的液滴,保证液滴含量低于75 mg/Nm³。

6.2 脱硫塔的技术原理和优化

本工程采用高效脱硫塔,是在常规脱硫塔的基础上,优化喷淋层布置,增加塔内增效装置,主要

优化措施如下。

6.2.1 新型喷淋层布置

在高含硫量、高脱硫效率的大型机组脱硫系统中,优化喷淋母管及喷淋梁附近的喷嘴布置,以达到增加喷淋覆盖率的效果。

大直径吸收塔一般采用双母管式喷淋层^[11],为使喷嘴不直接冲刷喷淋母管及喷淋梁,喷淋梁附近及喷淋母管附近的喷嘴需加大间距,造成以上两区域的喷淋覆盖率降低,形成局部烟气逃逸间隙,降低吸收塔的脱硫效率。新型喷淋层布置,靠近喷淋层母管处喷嘴旋转角度布置,靠近喷淋梁喷嘴下沉布置,可避免对喷淋母管及支撑梁的直接冲刷,且增加喷淋母管及支撑梁区域的喷淋覆盖率^[12]。在母管支撑梁设计上,无需进行特殊喷淋梁设计。

6.2.2 塔内增效装置

吸收塔内增效装置采用新型托盘技术,新型托盘技术是与奥地利 Gridlab GmbH 合作开发的高效脱硫新技术,对传统托盘进行了优化,在此基础上成功开发了新型托盘。

目前,传统的湿法脱硫技术设计效率均在 98% 以下,若达到 98% 以上,长期运行,将无法稳定的保持效率。根据脱硫反应“双膜”理论,在液相控制区中,液滴表层已经吸收了大量的 SO_2 , pH 值很低,但是受制于液滴内部的传质速度,浆滴内部 pH 值仍旧比较高,表层的酸性浆膜阻碍浆滴继续吸收 SO_2 。由于液相控制区的存在,使得第一层喷淋层以下巨大的吸收空间没有办法有效利用,制约了脱硫效率。

早期石灰石石膏法中有些厂家增加了托盘,托盘用合金材料钢板开孔制作,早期托盘采用平面结构,对烟气扰流作用不大,对增强传质作用不够大。钢板上密集开孔,强度和使用寿命下降,已投运项目中时有塌陷和破损发生。此外这种托盘上存有一定液位,引风机要克服液位静压才能排出烟气,带来很大的运行电耗。本工程采用的新型托盘技术很好的解决了上述问题,浆液滴在托盘单元的管壁上重新分布,气流向上液滴向下相对运动,浆滴表面酸性液膜在气液强烈湍动的作用下被撕裂,重新分配浆滴,内部较高 pH 值的浆液和烟气进行接触,烟气中的 SO_2 被强化吸收。

烟气通过新型托盘时产生一定压力降,烟气通过托盘时会更均匀,托盘实际上相当于是一个均流

层,杜绝了部分烟气快速通过吸收区域的可能性。

新型托盘采用模块化结构,采用合金材料或耐热高分子材料制作。托盘通量大、压损适中、防堵性能佳。

新型托盘有较多优点:如模块化安装,维护、安装简便;空间结构,传质效果佳;有利于达到超低排放;烟气阻力适中,有利于烟气均布,但又没有早期托盘液位静压带来阻力大幅度增加的不足。

6.2.3 吸收塔采用大肚型塔

本工程含硫量高,计算吸收塔内烟气最佳流速约 4 m/s,直径约 16 m,计算浆池体积为 3 302 m^3 。若采用传统吸收塔,则浆池直径需 16 m,吸收塔总高度需 42.43 m。

为适应高硫量和高脱硫率的特点,可采用变径塔:塔上部仍按选择传统烟气流速,下部根据浆池容积,加大塔截面积,降低塔下部高度。塔顶为 16 m,塔底为 19 m,高 37.45 m,与传统吸收塔相比,高度降低约 5 m,烟道等钢结构用量相应减少、循环泵扬程降低、吸收塔搅拌器减少 2~5 个。

采用上述优化措施后,通过 CFD 数值模拟方式,可以看出,进入吸收塔内烟气均布、高效喷淋层增加了吸收塔内喷淋覆盖率。脱硫塔烟气分布及流速分布如图 5 所示。

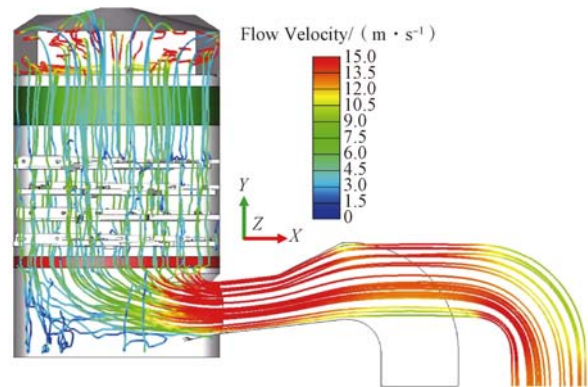


图5 脱硫塔烟气及流速分布

Fig. 5 Distribution of flue gas and flow velocity in desulphurizing tower

7 电除尘除雾器装置

7.1 电除尘除雾装置基本原理

电除尘除雾装置是一种高压静电除尘除雾装置,装在湿法脱硫吸收塔后、MGGH 再热器入口,其原理与常规湿式电除尘器相似,但设备投资相对

要少很多。

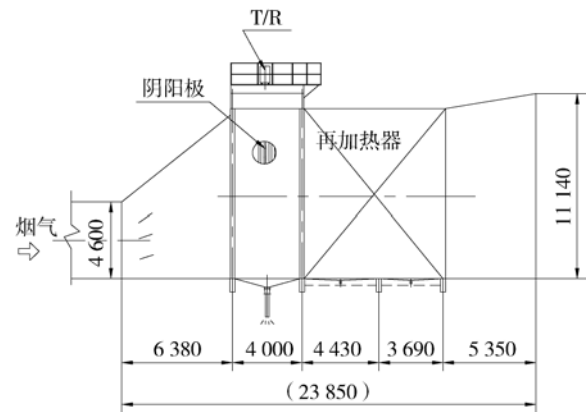
电除尘除雾装置采用高压电风拦截式设计, 可对尘、酸雾等有效辅助捕集, 其与常规湿式电除尘器的主要区别在于采用较高的烟气流速, 大大降低集尘面积。采用直流高压发生装置配套控制装置, 将交流电变成直流电, 除雾器阴极(电晕线)和阳极(雾滴捕集极板)之间形成电场, 烟气分子被大量电离, 瞬间产生的离子和电子在电场力的驱动下定向移动, 构成烟尘和雾滴捕集的媒介, 并依附在雾滴和烟尘微粒上使其荷电, 荷电后的雾滴和烟尘微粒受到电场力驱动定向移动, 最终被阳极板捕集, 已荷电的微粒的电子在极板上被释放。随着阳极板的捕集的雾滴逐渐增加, 雾滴最终集聚形成水膜, 并在重力作用下沿着极板表面往下流到除雾器底部集液及回流装置中, 达到净化烟尘和雾滴的效果。

7.2 电除尘除雾器布置方案

电除尘除雾装置较湿式电除尘器体积要小很多, 布置在 MGGH 再热器入口即可, 利于设备和管道的整体布置。装置的设计方案如图 6 所示。

7.3 电除尘除雾器主要技术参数

处理烟气流: $2.912\ 556 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$; 处理烟温: 约 $50\ ^\circ\text{C}$; 总集尘面积: $2\ 640\ \text{m}^2$ (含阴极线体辅助捕集正离子面积); 电场风速: 约 $6\ \text{m/s}$; 同极间距: $120\ \text{mm}$; 异极距: $160\ \text{mm}$; 阴阳极材料: 2025; 配套高压电源: $1.4\ \text{A}/72\ \text{kV}$ 高频电源, 数量 1 台; 烟气阻力: $<100\ \text{Pa}$; 除尘、除雾率: 55% ; 电气负荷: 约 $112\ \text{kW}$ 。



注: 单位为 mm。

图 6 电除尘除雾装置布置方案

Fig. 6 Layout scheme of electrostatic dust and mist eliminator

增加电除尘除雾装置后, 烟囱出口烟尘排放指标分析如表 2 所示。可以看出, 在湿法脱硫后、MGGH 再热器前端增设电除尘除雾装置后, 考虑其除尘和除雾 55% 的效率, 烟囱出口粉尘排放设计值可达到 $9.81\ \text{mg}/\text{Nm}^3$, 满足国家环保标准要求烟囱出口粉尘排放浓度 $\leq 10\ \text{mg}/\text{Nm}^3$ 的超低排放目标要求。

8 实测排放指标

采用高效脱硫及除尘一体化超洁净技术后, 除尘器、脱硫塔、MGGH 装置、电除尘除雾装置协同对烟尘和 SO_2 进行脱除, 烟尘排放指标满足且优于《污染物排放标准》和《行动计划》对重点地区的要求, 满足火力发电厂“超洁净”排放的要求。本工程

表 2 增加电除尘除雾装置后烟囱出口烟尘排放指标

Tab. 2 Index of flue dust emission on the chimney outlet after installing electrostatic dust and mist eliminator

设备	指标	参数	备注
干式电除尘器	出口烟尘浓度/ $(\text{g} \cdot \text{Nm}^{-3})$	30	—
	除尘效率/%	50	高效脱硫
WFGD 湿法脱硫	出口粉尘逃逸浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	15	$30 \times (100 - 50)\%$
	出口液滴浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	40	—
	液滴含固率/%	17	主要为石膏逃逸
	出口液滴含固浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	6.8	$=40 \times 17\%$
电除雾器	除尘除雾效率/%	55	—
	出口烟尘浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	6.75	主要为粉尘逃逸
	出口液滴浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	18	—
	出口液滴含固浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	3.06	主要为石膏逃逸
烟囱	出口烟尘浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	9.81	$6.75 + 3.06$
	出口液滴浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3})$	18	—

设计应满足的烟气污染物指标和投运实测值如表3所示。

表3 烟囱出口污染物排放指标

污染物	《污染物排放标准》	《行动计划》	实测排放值
烟尘	30	10	2.2
SO ₂	100	35	16.7

另外,由于采用了MGGH装置,通过对烟气余热的利用来提高烟气温度,减少烟气中液滴和烟尘浓度,满足火力发电厂“超洁净”排放的要求,且消除烟囱出口的“石膏雨”现象。

9 结论

高效脱硫及除尘一体化超洁净技术后,采用了五电场低低温加高频电源高效干式静电除尘器、MGGH装置、高效脱硫塔及电除尘除雾装置,整套系统协同除尘和脱硫效率更高、对煤种适应性更强,采用该套方案在不设置湿式除尘器的条件下即可满足火力发电厂“超洁净”排放的要求,对节省电厂投资和运行成本,改善环境空气质量、防治酸雨污染、防治扬尘污染、除烟囱出口的“石膏雨”现象等将起到重大作用,为实现环境友好型火力发电厂起到了有力的技术保障。

目前国内新建及改造电厂项目中,均要求达到超低排放要求,通过该工程的创新设计,对新建或改造项目有很好的指导意义。

参考文献:

- [1] 江泽民. 对中国能源问题的思考 [J]. 中国石油和化工经济分析, 2008, 30(6): 4-16.
- [2] 火力发电厂污染物排放标准: GB 13223—2011 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [3] 许静, 段钰锋, 冯琰磊, 等. 1 000 MW 机组烟囱石膏雨的研究 [J]. 发电设备, 2017, 9(5): 344-347.

- [4] 李文华, 刘含笑, 郦建国. “石膏雨”生成原因及治理措施研究 [J]. 山东化工, 2017, 46(6): 175-177.
- [5] 蔡松. 燃煤电厂除尘技术的分析比较 [J]. 科技视界, 2016(26): 303.
- [6] 张殿印, 王纯. 除尘器手册 [M]. 北京化学工业出版社, 2005.
- [7] 宋晓波. 高频电源静电除尘器节能提效控制策略在三河电厂的应用 [J]. 电气技术, 2016, 17(3): 78-80.
- [8] 陈颖, 郭俊, 毛春华. 电除尘器高频电源的提效节能应用 [J]. 中国环保产业, 2010(12): 28-31.
- [9] 陈多. 高频电源在发电厂电除尘器上的应用与节能分析 [J]. 自动化应用, 2011(7): 8-10.
- [10] 陈文理. MGGH 技术在 1 000 MW 机组中应用的技术、经济性分析 [J]. 电力建设, 2014, 35(5): 103-107.
- [11] 谭学谦. 超大型机组湿法脱硫吸收塔喷淋系统设计优化 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(1): 98-100+104.
- [12] 成明涛, 林友新, 肖志前, 等. 火力发电厂高温蒸汽管道应力评估与调整 [J]. 广东电力, 2016, 29(11): 8-11+127.
- CHENG M T, LIN Y X, XIAO Z Q, et al. Assessment and adjustment for stress of high-temperature steam pipelines in thermal power plants [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(11): 8-11+127.

作者简介:



WANG Z F

王正峰(通信作者)

1983-, 男, 安徽安庆人, 高级工程师, 学士, 主要从事燃煤电厂、生物质电厂及垃圾发电厂热机设计工作 (e-mail) wangzhengfeng@gedi.com.cn。

邹竟成

1982-, 女, 湖南祁东人, 高级工程师, 硕士, 主要从事燃煤发电厂环保工艺、大气污染治理等设计工作 (e-mail) zoujingcheng@gedi.com.cn。

(责任编辑 高春萌)