

# 烟气调温装置在 1913t/h 锅炉中的应用

吴瑞生

(华润江苏镇江发电有限公司, 江苏 镇江 212114)

**摘 要:**节能减排工作成为我国的基本国策,火电厂如何降低机组的能耗指标,提高机组运行经济性,降低电厂烟气污染物的排放,成为火力发电厂的重要任务。本文介绍了江苏镇江发电有限公司两台 1913t/h 锅炉在进行电除尘器改造过程中,应用烟气调温装置,进行节能降耗所进行的工作。将机组的各项热损失也作为余热开发利用,为同类型机组提供了参考。

**关键词:**烟气调温装置; 节能; 环保提效; 设备改造

## 1 概述

随着能源危机和环境危机的加剧,国家对节能环保要求的提高,节能减排工作以成为我国的基本国策。火力发电厂在运行时,不断在消耗一次能源,产生并排放大量的 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 以及烟尘等。如何降低火电厂的污染物的排放,提高发电机组的能耗指标,提高经济性,成为火力发电厂的重要任务。

江苏镇江#5、#6 锅炉为上海锅炉厂有限公司生产的 1913t/h 超临界参数直流炉。单炉膛、一次中间再热、四角切圆燃烧方式、Π 型露天布置燃煤锅炉(型号: SG1913/25.40-M951)。设计煤种: 神府煤,校核煤种: 晋北煤。

由于近年来各火电厂加大经济运行管理工作,煤炭掺烧成为一个正常性的工作。锅炉所用煤种偏离设计煤种较多,同时还进行较多劣质煤的掺配工作,导致锅炉排烟温度偏高,影响了锅炉的效率。结合本次电除尘器改造,加装烟气调温装置,在提高电除尘器效率的同时,提高机组运行经济性。

## 2 烟气调温装置系统简介

### 2.1 凝结水系统

烟气调温装置凝结水是从 8 号低压加热器前和 7 号低压加热器后分别引出部分凝结水,混合进入调温装置。凝结水水温升至约 115℃,然后返回到 6 号低压加热器前,进水温度根据机组负荷及季节情况由气动调节阀进行调节。考虑系统较长,压损较大,增加二台变频增压水泵,必要时开启。

### 2.2 烟气系统

从空预器出来的温度为 140℃~160℃ 烟气,,经过布置在电除尘前的 4 台换热器后温度降低,经过调温装置后,温度降低到 100℃~110℃,然后进入除尘器除尘。

### 2.3 吹灰系统

防止烟气调温装置长时间运行后产生积灰影响换热效果,在每台调温装置上布置 2 台声波吹灰器(共 8 台)。吹灰压缩空气取自厂用仪用气母管。

### 2.4 烟气调温装置设计参数

烟气调温装置热力计算数据和结构计算数据分别见表 1、表 2。

表 1 烟气调温装置热力计算数据(单台炉)

参数	符号	单位	数据
换热器工质总计算流量	Dsm	t/h	700
换热器进口水温	t"	℃	>80
换热器出口水温	t'	℃	115.6
入口烟气温度	T'	℃	148
出口烟气温度	T"	℃	110
烟气阻力	ΔH	Pa	<350
换热功率		kW	单台,共 4 台,5700
散热损失	ψ	—	1%

表 2 烟气调温装置结构计算数据(单台炉)

参数	符号	单位	数据
换热器宽度	a	m m	单台,共 4 台,4400
换热器高度	b	m m	单台,共 4 台,6000
管排布置方式			顺列布置
换热管形式			H 型翅片管
换热管材料			20G+ND 钢

## 3 烟气调温装置对电除尘器的提效原理

(1) 排烟温度升高,使烟气流速增大,电除尘电场风速提高,烟尘经电场处理时间变短,同时加剧二次扬尘,除尘效率将呈指数关系下降。从经验

可知, 电场风速上升, 电除尘效率呈指数关系下降。一般当排烟温度每升高  $10^{\circ}\text{C}$ , 烟气流速增加约 3%。

(2) 排烟温度升高, 使电场击穿电压下降, 除尘效率下降。烟温每升高  $10^{\circ}\text{C}$ , 电场击穿电压下降 3%。而当排烟温度降低时, 密度增大, 气体分子间隔变小, 电子之间碰撞动能变小, 电离效应减小, 气体击穿电压提高, 除尘器电场运行电压提高, 从而提高除尘效率。如图 1 所示。

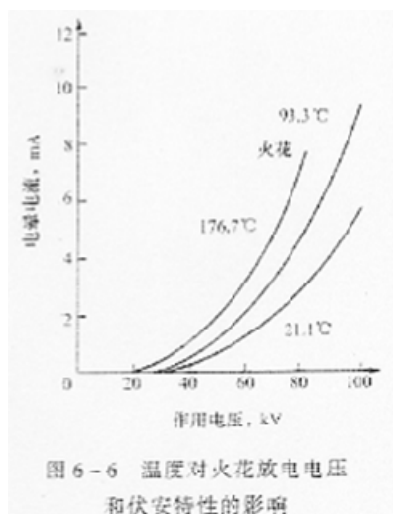


图 1 温度对火花放电电压和伏安特性的影响

(3) 排烟温度升高, 会使粉尘比电阻增大, 易形成反电晕, 造成除尘效率下降。当排烟温度在  $150^{\circ}\text{C}$  左右时, 粉尘的比电阻最高, 电除尘器更易出现低电压、大电流的反电晕现象, 造成除尘效率下降。当烟温从  $130^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$  变成了  $100 \sim 120^{\circ}\text{C}$  区间, 从图 2 中对应的气体温度与粉尘比电阻的关系曲线中可看出, 此时粉尘的比电阻将降低 1 个数量级以上。

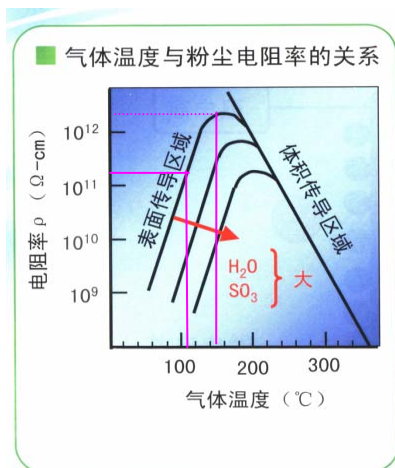


图 2 气体温度与粉尘电阻率的关系

(4) 排烟温度升高, 会使气体的粘滞性变大, 导致烟尘颗粒在烟气中的驱进速度减缓, 造成收尘效率下降。

综上所述, 通过加装烟气调温装置, 在机组高负荷时, 将除尘器的入口烟温降低, 使烟气流速减少, 相当于除尘器的比集尘面积增大; 另外, 进入电气除尘器的烟温下降后, 烟气中的水分子、二氧化硫分子更容易和粉尘结合, 飞灰荷电性能更好, 从而可降低飞灰比电阻, 使飞灰更适于电除尘器收尘, 提高除尘效率。

## 4 节能效果计算

烟气调温装置将烟气余热输入回热系统中会排挤部分抽汽, 会导致热力循环效率降低。另外排挤的部分抽汽会增加凝汽器的排汽使汽轮机真空有所降低。但理论上, 增设烟气调温装置后, 大量烟气余热进入回热系统, 这是在没有增加锅炉燃料量的前提下, 获得的额外热量, 它以一定的效率转变为电功。这个新增功量要远远大于排挤抽汽和汽机真空微降所引起的功量损失, 所以机组经济性总体是提高了。

### 4.1 机组煤耗节省计算

将烟气调温装置回收的排烟余热作为纯热量输入系统, 而锅炉产生  $1\text{kg}$  新汽的能耗不变。以此前提, 热力系统所有排挤抽汽所增发的功率, 均将使汽轮机的效率提高。

相应  $1\text{kg}$  汽轮机新汽, 其全部做功量称新汽等效焓降 (记为  $H$ ), 所有排挤抽汽所增发的功量 (记为  $\Delta H$ ) 称等效焓降增量, 计算如下:

$$H = 3600 / (\eta_{jd} \times d) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\Delta H = \beta [ (h_{d2} - h_4) \eta_5 + \sum (\tau_j \cdot \eta_j) ] \quad (\text{kJ/kg})$$

式中:  $d$ —机组汽耗率,  $\text{kg/kWh}$ ;

$\eta_{jd}$ —汽轮机机电效率;

$\beta$ —烟气调温装置流量系数;

$h_{d2}$ —烟气调温装置出水比焓,  $\text{kJ/kg}$ ;

$h_4$ —除氧器进水比焓,  $\text{kJ/kg}$ ;

$\tau_j$ —所绕过的各低加工质焓升,  $\text{kJ/kg}$ ;

$\eta_j$ —所绕过的各低加抽汽效率。

热耗率降低  $\delta q$  按下式计算:

$$\delta q = \Delta H \cdot q / (H + \Delta H) \quad (\text{kJ/kWh})$$

式中:  $q$ —机组热耗率,  $\text{kJ/kWh}$ 。

发电标煤耗节省量  $\delta b_s$  按下式计算:

$\delta b_s = \delta q / (\eta_p \cdot \eta_b \cdot 29300)$  (kg/kWh)  
式中： $\eta_p$ 、 $\eta_b$ —锅炉效率、管道效率。  
根据我公司 630MW 机组主要设计参数，经计

算，结果见表 3、表 4。若烟气调温装置降低排烟温度 38℃，煤耗可下降 3.13g/kWh。

表 3 烟气调温装置主要指标计算（630MW）

项目	进口烟温 $t_{y1}$	出口烟温 $t_{y2}$	低省换热量 $Q_d$	低省出水温度 $t_d$	机组等效焓降 H	等效焓降增量 $\Delta H$	热耗率降低 $\delta q$	发电标煤耗减少 $\delta b_s$
单位	℃	℃	kW	℃	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kWh	g/kWh
数值	148	110	5700	120	1301	12.8	74.47	3.1307722

注：烟气调温装置尽管降低了排烟温度，但并未改变锅炉效率。锅炉的排烟温度仍然定义于空气预热器出口烟气温度。

表 4 2012 年全年#5 机组在不同负荷率下累计运行小时数

月份	负荷范围/MW	累计小时数/h	占比/%
1-12 月份	300-450	1960	24.066
	450-600	5995	73.630
	600 以上	188	2.304
全年累计		8142.25	

根据表 3、4 可看出，本司 630MW 机组负荷约有 75.934% 的情况，运行负荷在 450MW 以上。若加装烟气调温装置后，按烟气调温装置出口烟温平均下降 15℃ 计，煤耗可下降 1.235g/kWh，经济效益明显。按 2012 年实际发电量 40.91 亿 kWh，标煤价格 900.00 元/t 计算，每年一台锅炉产生的经济效益为 40.91 亿 kWh × 75.934% × 1.235 g/kWh / 10<sup>6</sup> × 900.00 元/t = 345.28 万元。三期两台机组经济效益达 690.56 万元。

4.2 汽机真空影响计算

根据有关资料表明，增加烟气调温装置所造成的汽轮机背压升高约 0.04kPa 左右，汽轮机排汽比焓升高值约为 0.45kJ/kg 左右，仅占新汽等效焓降的 0.03~0.04%。因此，对于因排挤抽汽对汽轮机真空以及对汽轮机做功的影响基本可忽略。

4.3 吸风机电耗的降低明显

按烟气调温装置出口烟温下降 15℃ 计，排烟量约下降 5%，而引风机功率与风量成正比关系，电耗的下降明显。引风机可节约电耗 320kW/机组。按年运行小时数 8142h 计，年节约 2605440 kWh，按 0.30 元/kWh 计，年费用 78.1632 万元

5 烟气调温装置设计，安装，运行注意要点

5.1 低温腐蚀

烟气调温装置冷端温度约 65℃，造成该温度处于烟气酸露点温度以下，对调温装置换热管会产生较严重的腐蚀，换热管需要考虑选用合适的耐腐蚀材料。

5.2 换热管积灰

烟气调温装置的换热面管采用高频焊翅片管，与普通光管相比，翅片管传热性好，但是易于积灰。调温装置设计时需考虑选择合适间距的翅片管以减少省煤器管壁积灰。调温装置在布置上必须考虑可拆卸的形式，并在调温装置上设置水清洗系统，利用机组停运期间进行水清洗。

5.3 对电气除尘器的影响

由于进入电气除尘器的烟气温度降低，电气除尘器收集的飞灰温度也降低，为了保持飞灰的流动性，除尘器灰斗的电加热器的功率应增大。若不能保证飞灰的温度，当长距离输送时末端的灰温降低，在冬季运行时有可能水分析出，易导致灰管堵塞。

5.4 调温装置泄漏

调温装置换热管长期在烟气环境下工作，由于腐蚀及磨损，管道可能会出现泄漏危险。发生水系统泄漏时，凝结水会随着烟气进入除尘器，对除尘器安全运行存在较大威胁。造成电气除尘器的仓泵结灰堵塞，输灰系统堵管。

5.5 投用注意点

若不能随机进行水冲洗，投用，当机组运行中投用时，烟气调温装置系统还没有充水，管道内处于干态，此时应充分考虑热应力、管内汽化等因素的影响，缓慢充水，并应尽量减少换热管内水温与烟温的差值。同时此时投用也会影响锅炉水质，系统应充分冲洗，排放工作，水质合格投用。并且在升压过程中应随时监视炉水品质。

5.6 运行注意点

为尽可能减少受热面的低温腐蚀，正常情况下，应保证在任何工况下烟气调温装置出口烟温应不低于 105℃ 运行。同时注意烟气调温装置水侧系统压力应大于 1.0MPa，避免换热管内部产生汽化。烟气调温装置泄漏会造成电除尘器灰系统堵管，必须对烟气调温装置泄漏加强关注。

## 6 设备运行情况

我公司 #5 锅炉烟气调温装置于 2013 年 11 月

19 日投运, #6 锅炉烟气调温装置于 2014 年 2 月 20 日投运至今运行基本正常。见表 5、表 6。

表 5 公司某日运行参数情况(水侧参数)

负荷	进水压力	进水温度	进水流量	AA 侧进水 温度	AA 侧出水 温度	AB 侧进水 温度	AB 侧出水 温度	BA 侧进水 温度	BA 侧出水 温度	BB 侧进水 温度	BB 侧出水 温度
MW	MPa	℃	t/h	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃
520	1.41	80	47.46	79.97	116	79.33	117.2	78.37	118.8	79.59	121.3

表 6 公司某日运行参数情况(烟侧参数参数)

AA 侧烟 气阻力	AB 侧烟气 阻力	BA 侧烟气 阻力	BB 侧烟气 阻力	AA 侧进烟 温度	AA 侧出烟 温度	AB 侧进烟 温度	AB 侧出烟 温度	BA 侧进烟 温度	BA 侧出烟 温度	BB 侧进烟 温度	BB 侧出烟 温度
Pa	Pa	Pa	Pa	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃
159.1	237.6	277.5	170.7	124.7	108.8	123.3	110.3	126.3	112.6	126.9	109.1

从表 5、表 6 可看出, 只需较小的进水流量, 烟气调温装置的进出口烟温下降值就可达 14~17℃, 烟气阻力最高也只有 277.5 Pa, 远低于设计 350 Pa 的要求。借助烟气调温装置的进水温度和流量的调节, 锅炉排烟温度最低可降低至 100℃ 以下。但考虑到低温腐蚀的影响目前煤质下控制排烟温度在 110℃ 左右运行。

从目前情况看, 烟气调温装置的出力远未达到设计水平, 基本就可满足排烟温度的降温需要。电气除尘器的出品烟尘排放均在环保要求的较高水平。

## 7 结束语

(1) 烟气调温装置系统较简单, 但节能效果明显。同时结合本次烟气调温装置改造, 对电气除尘器的进口烟道时进行了优化工作, 经计算分析, 基本补偿了增加烟气调温装置所增加的烟气阻力, 未再增加烟道阻力。当然, 由于烟气调温装置所吸收余热的利用能级相对较低, 因此其节能量并不及高压省煤器改造。

(2) 烟气调温装置应做好防磨、防腐蚀的工作, 同时必须配置有效的检漏措施。本次工程安装工艺存在一定问题, 投用后发生几次水系统泄漏, 对电气除尘器的灰系统运行造成一定影响, 今后的工程中, 应对此类问题重点关注。

(3) 随着国家环保要求的提高, 烟气调温装置在火电厂锅炉中的应用会越来越多, 特别是在电器除尘器进口, 以提高电气除尘器的效率。镇江发电有限公司在 1913t/h 锅炉的成功改造, 为类似机组提供了参考。

### 参考文献:

- [1] 何布朗. 江苏镇江发电有限公司(2×630MW 机组)电除尘改造可行性报告[R].
- [2] 江苏海德节能科技有限公司.(2×630MW 机组)锅炉电除尘烟气调温装置工程技术协议[Z].

### 作者简介:

吴瑞生(1970-), 男, 江苏镇江人, 从事锅炉运行专业管理工作。