

# 超低排放开式循环 WGGH 系统在苏龙热电的应用

徐志强

(江阴苏龙热电有限责任公司,江苏 江阴 214442)

**摘 要:** 锅炉烟气超低排放要求脱硫后的净烟气加热到 80℃以上,我国目前正大量采用水媒式烟气-烟气换热器(WGGH)系统,实现脱硫前的高温烟气加热脱硫后的低温烟气。针对锅炉排烟温度变化大、锅炉排烟温度较高时烟气冷却器回收的热量多于净烟气加热所需热量的问题,提出了一种开式循环 WGGH 系统,并利用现场运行数据说明了该系统的有效性。

**关键词:** 锅炉排烟;超低排放;WGGH 系统;环保节能

**中图分类号:** TK223.7

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2015)03-0075-03

随着我国经济建设的不断发展,环境污染非常严重,雾霾天气造成人们的生活质量下降。作为燃用 50%煤炭的大户,火力发电净化烟气,实现超低排放的要求摆到了电力工程师的面前。所谓超低排放是指燃煤锅炉的大气污染物排放浓度达到 GB13223—2011 标准中燃气轮机组的大气污染物排放标准,即  $\text{NO}_x$  浓度  $\leq 50 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  浓度  $\leq 35 \text{ mg/m}^3$ , 烟尘浓度  $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ 。

目前火力发电厂用于烟气净化实现烟尘超低排放的主要技术措施是:电气除尘器前设置烟气冷却器,将进入电气除尘器的烟气温度降到 90℃左右,实现低低温电气除尘;在烟气湿法脱硫塔后面加装湿法电除尘器进一步除尘;最后再设置净烟气加热器将净烟气温度提高到 80℃左右排向大气。文中针对燃煤电厂超低排放要求,介绍了一种开环水媒式烟气-烟气换热器(WGGH)系统及其在苏龙热电公司的应用,现场运行数据说明了该系统的有效性。

## 1 锅炉排烟温度及排放要求

锅炉尾部烟气的净化处理从锅炉排烟到烟囱排放之间。目前我国电站锅炉在设计和运行中,排烟温度基本上没有要求自动控制<sup>[1]</sup>,随着煤种、冬夏季气温、昼夜间气温以及机组负荷的变化而被动地自然变化,对锅炉效率和低温腐蚀的影响随其自然<sup>[2]</sup>。

外界气温的变化在冬夏季会相差 20~50℃,对锅炉排烟温度的影响为 10~30℃,也就是说:如果冬季气温低时锅炉排烟温度 110℃,那么在夏季气温高时锅炉排烟温度将达到 140℃。一般在锅炉设计时取环境温度为 20℃,对应的锅炉设计排烟温度 125℃左右。机组负荷变化带来的排烟温度的变化也非常明显,表 1 列出了 135 MW 机组排烟温度与机组负荷的对应数据。

从表 1 可见,机组 BMCR 工况的锅炉排烟温度比

表 1 锅炉排烟温度与机组负荷的对应数据

项目	BMCR	ECR	50%BMCR
烟气流量 / ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	498 179	456 384	289 859
烟气温度 /℃	142.8	137.2	111.1

50%BMCR 工况高 31℃。所以对锅炉尾部烟气净化处理而言,入口的烟气温度多变,给烟气净化处理的高要求带来了一定的难度。

烟气净化处理实现超低排放技术措施第一步是电气除尘器前面设置烟气冷却器,将进入电气除尘器的烟气温度降低到 90℃左右,实现低低温电气除尘<sup>[3]</sup>。

火电厂烟囱白烟滚滚的景象随处可见,超低排放的技术指标之一就是将烟气排放温度提高到 80℃左右,保护烟道、烟囱免于露点腐蚀<sup>[4]</sup>,同时提高烟囱出口处烟气抬升高度和扩散半径,消除白烟。

超低排放烟气净化处理的第二步就是烟气脱硫,目前常用的绝大部分脱硫方式是湿法脱硫,脱硫塔出来的烟气温度约为 50℃。所以需要设置烟气再热器将脱硫后的烟气加热到 80℃。

## 2 WGGH 系统的特点

WGGH 系统的基本原理如图 1 所示。WGGH 系统的热媒水是一种热量载体,起输送热量的作用。热媒水在烟气冷却器内吸热使原烟气降温冷却,吸热升温后的热媒水循环到烟气再热器放热使净烟气升温,放热后的热媒水降温后再循环到烟气冷却器吸热升温,循环往复。由于热媒水封闭循环,所以叫做闭式循环 WGGH 系统。闭式循环的热量平衡遵循下面的公式:

$$Q_{yqfr} = Q_{jyqzr} \quad (1)$$

$$Q_{yqfr} = V_{yqll} \times R_{yqbr} \times (T_{yqj} - T_{yqc}) \quad (2)$$

$$Q_{jyqzr} = V_{jyqll} \times R_{jyqbr} \times (T_{jyqj} - T_{jyqc}) \quad (3)$$

式中: $Q_{yqfr}$  为热媒水在烟气冷却器回收的热量, kJ/kg; $Q_{jyqzr}$  为热媒水在净烟气再热器放出的热量, kJ/kg; $V_{yqll}$  为流经烟气冷却器的烟气流量, kg/s; $R_{yqbr}$  为流经烟气

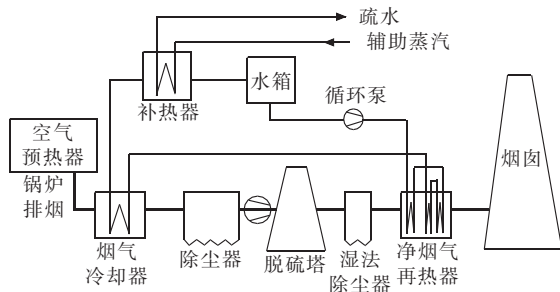


图1 闭式循环 WGGH 系统

冷却器的烟气比热,  $\text{kg/kg}$ ;  $T_{yqi}$  为烟气冷却器烟气进口温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{yqc}$  为烟气冷却器烟气出口温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $V_{jyql}$  为流经净烟气再热器的烟气流量,  $\text{kg/s}$ ;  $R_{jyqr}$  为流经净烟气再热器的烟气比热,  $\text{kg/kg}$ ;  $T_{jyqi}$  为净烟气再热器烟气进口温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{jyqc}$  为净烟气再热器烟气出口温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

在实际工程实践中, 烟气冷却器烟气流量基本等于净烟气再热器的烟气流量, 二者差距小于 3%; 烟气冷却器烟气比热基本等于净烟气再热器的烟气比热, 二者差距小于 3%。净烟气再热器的烟气升温基本上是一个固定值, 即:  $T_{jyqi} - T_{jyqc} = 30^{\circ}\text{C}$ ; 但烟气冷却器的烟气降温是一个变化的值, 即:  $T_{yqi} - T_{yqc} = (150 \sim 110)^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C} = (60 \sim 20)^{\circ}\text{C}$ 。

当烟气冷却器烟气降温小于  $30^{\circ}\text{C}$  时, 采用辅助蒸汽补热系统就可以满足净烟气再热器的热量需求。

但当烟气冷却器烟气降温达到  $50^{\circ}\text{C}$  时, 闭式循环就要求净烟气再热器将净烟气加热升温到  $100^{\circ}\text{C}$  左右, 才能使热量平衡, 维持循环不断。单纯将净烟气再热器传热面积加大可以满足这一工况的热量传递要求, 当烟气冷却器温降幅度小于  $50^{\circ}\text{C}$  甚至达到  $30^{\circ}\text{C}$  时, 庞大的净烟气再热器传热面积势必将热媒水温度降得很低, 烟气冷却器和净烟气再热器的低温腐蚀就会接踵而至, 安全运行没有保障。

发生上述情况时, 在设计和运行中势必出现另一种情况, 即: 烟气冷却器出口烟气温度高于  $90^{\circ}\text{C}$  达到  $100^{\circ}\text{C}$ , 净烟气再热器出口烟气温度高于  $80^{\circ}\text{C}$  达到  $90^{\circ}\text{C}$ , 从而使烟气冷却器烟气放热量等于净烟气再热器的烟气吸热量, 维持热媒水闭式循环不断。这种妥协的结果有二: 一是实现不了  $90^{\circ}\text{C}$  低低温电气除尘的功能; 二是净烟气再热器由于传热面积增大使得造价增加很多。

### 3 开式循环 WGGH 系统

鉴于闭式循环在技术上具有上述客观缺陷, 必须采用其他方式解决这一热量平衡问题。

苏龙热电在已经设置低温省煤器的情况下, 对 WGGH 进行改造, 采取了一种开式循环 WGGH 系统, 解决了这一热量平衡的问题。图 2 示出了苏龙热电 2x

300 MW 机组和 4x135 MW 机组采用的开式循环 WGGH 系统。烟气冷却器的凝结水来自 6 号低加入口, 设计烟气温度从  $150^{\circ}\text{C}$  降低到  $110^{\circ}\text{C}$ , 凝结水温度从  $80^{\circ}\text{C}$  提高到  $100^{\circ}\text{C}$  再返回 6 号低加继续加热。

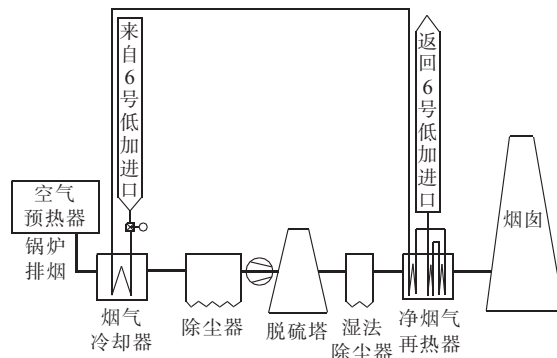


图2 应用于苏龙热电的开式循环 WGGH 系统

图 2 所示系统与单纯的烟气冷却器系统很类似, 从烟气冷却器出来的凝结水不是马上返回 6 号低加入口, 而是先进入净烟气再热器加热净烟气到  $80^{\circ}\text{C}$ , 然后再返回 6 号低加入口进入 6 号低加继续加热。在单纯烟气冷却器系统, 凝结水离开低压抽汽回热系统大约 5 min 被加热升温后再返回低加抽汽回热系统; 而在开式循环 WGGH 系统, 凝结水离开低压抽汽回热系统大约 7 min 被加热升温再放热降温后再返回低加抽汽回热系统。由于整个系统始终充满凝结水, 所以只影响运行之初的充水量, 不影响汽轮机系统的水平衡。

由于开式循环 WGGH 系统将烟气冷却器内的凝结水吸热量和净烟气再热器内的凝结水放热量区别开来, 不要求公式(1)所示的相等关系, 使得烟气冷却器出口烟气温度  $90^{\circ}\text{C}$  的要求与净烟气再热器出口烟气温度  $80^{\circ}\text{C}$  的要求没有关联, 二者分别调节。通过调节进入烟气冷却器的进口凝结水流量, 实现烟气冷却器出口烟气温度达到  $90^{\circ}\text{C}$ ; 通过调节进入净烟气再热器的进口凝结水流量, 实现净烟气再热器出口烟气温度达到  $80^{\circ}\text{C}$ ; 如此实现各自自动调节到设计值, 顺势解决了闭式循环 WGGH 系统必须热量平衡造成的难以实现烟气冷却器出口烟气温度和净烟气再热器出口烟气温度无法同时调节到设计要求温度的缺陷。图 2 仅仅是简化了的原理图, 用于说明开式 WGGH 系统原理, 具体工程应该根据不同用户的要求加以细化。

### 4 开式循环 WGGH 系统的应用实践

苏龙热电锅炉烟气余热回收利用技术改造始于 2012 年, 当时电气除尘器厂家确定电气除尘器进口烟气温度控制在  $(110 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。2014 年初, 电力行业提出了锅炉烟气超低排放的目标, 苏龙热电率先进行了超低排放技术攻关和工程实践, 加装了净烟气再热器, 与原

有烟气冷却器组成 WGGH 系统。

系统热媒水循环流程:来自 6 号低加入口的 80℃ 凝结水→烟气冷却器,吸收烟气热量升温到 113℃→净烟气再热器,放热降温到 88℃→6 号低加,形成图 2 所示的开式循环 WGGH 系统。首套开式循环 WGGH 系统于 2014 年 7 月成功投运于苏龙热电 3 号、4 号机组。运行 6 个月后停炉检查,烟气冷却器和净烟气再热器受热面没有低温腐蚀迹象,也没有磨损、堵灰现象,系统设计和运行数据详见表 2。

表 2 首套开式循环 WGGH 系统数据

项目	烟气冷却器		净烟气再热器		
	进口烟温	出口烟温	进 / 出口 水温	进 / 出口 烟温	进 / 出口 水温
设计值	160~120	110±2	75/115	50/80±2	115/75
运行值	149	111	80/113	57/82	113/88

从表 2 可见,烟气冷却器烟气温降 38℃,净烟气再热器烟气温升 25℃,净烟气再热器水侧旁路调节阀开度 14%,返回 6 号低加的凝结水温度 88℃,成功实现了净烟气合理加热到设计排放温度,多余热量进入汽轮机低压抽汽回热系统,减少了 6 号低加抽汽量,降低了机组煤耗。

## 5 结束语

针对锅炉排烟温度变化幅度大的特点,采用开式循环 WGGH 系统是合理选择,在满足超低排放烟气温度需要的前提下,不仅使 WGGH 系统设备设计、造价合理,而且还能起到一定的降低机组煤耗的作用。苏龙热电首套开式循环 WGGH 系统的成功投运证明了该系统简单、可靠、安全,为电力行业实现超低排放净烟气加热方面提供了一种经济而有效的手段。

### 参考文献:

- [1] 赵之军,朱其远,严洪强,等.论电站锅炉排烟温度的自动控制[J].动力工程,2002,22(5):1949-1955.
- [2] 邵国桢,张兴无,赵之军,等.动态控制锅炉低温腐蚀和节能的有效措施[J].动力工程,2003,23(1):2039-2042.
- [3] 赵之军,冯伟忠,张岭,等.电站锅炉排烟余热回收的理论分析与工程实践[J].动力工程,2009,29(11):994-997.
- [4] 张基标,郝为,赵之军,等.锅炉烟气低温腐蚀的理论研究和工程实践[J].动力工程,2011,31(10):730-733.

### 作者简介:

徐志强(1973),男,江苏江阴人,高级工程师,从事火力发电厂技术创新和生产管理工作。

## Application of Ultra-low Emission Open-cycle WGGH System in Sulong Thermal Power Plant

XU Zhiqiang

(Jiangyin Sulong Thermal Power Generation Co.Ltd., Jiangyin 214442, China)

**Abstract:** Ultra-low emission requires that the gas temperature after desulfuration treatment should be above 80℃. Currently, the high temperature gas before performing desulfuration is used to heat the low temperature gas entering the WGGH system. It is found that when the boiler exhaust gas temper is high, the heat absorbed by the gas cooler is more than that needed for heating flue gas. Besides, large variations are also frequently encountered. For these issues, in this paper, we propose a open-cycle WGGH system, and the effectiveness of this system has been confirmed by field operational data.

**Key words:** boiler exhaust gas; ultra-low emission; WGGH system; energy conservation and environment protection

(上接第 74 页)

## Application of INFIT System For Steam Temperature and Coordination Control in Ultra-supercritical Power Unit

XU Jianzhong, CHEN Yifei

(Jiangsu Sheyanggang Power Generation Co. Ltd., Sheyang 224345, China)

**Abstract:** Due to the existence of large delay in the control of some objects, issues such as low temperature increase rate, large parameter fluctuation, and poor adaptability for different kinds of coal are frequently encountered in once-through boilers employing traditional DCS. Through analyzing the dynamic characteristics of large-scale once-through boilers and practically adopted control strategy, we have performed optical transform in the control system of 5# unit by installing the INFIT real-time control system. The basic characteristics and control logic of this system are introduced in this paper, and its effectiveness is also illustrated by using actual operation curve.

**Key words:** once-through boiler; INFIT system; optimize; safety evaluation

努力超越 追求卓越