

# 1 000 MW 超超临界机组加装低温省煤器改造及热经济性分析

马记

(华电莱州发电有限公司, 山东 烟台 261441)

**摘要:**以华电莱州发电有限公司 #1 机组 1000 MW 超超临界锅炉为例, 针对其年平均排烟温度达到 126 °C 的运行状况, 利用烟气超低排放一体化协同治理, 设计在锅炉空气预热器出口加装低温省煤器, 以降低锅炉排烟温度、吸收锅炉排烟热损失。重点阐述 1000 MW 超超临界机组低温省煤器布置设计、取水方案, 并利用等效焓降法对机组加装低温省煤器热经济性进行分析, 证明加装低温省煤器可有效提高了机组运行热经济性, 在排烟余热回收方面具有一定可行性。

**关键词:**低温省煤器; 排烟温度; 等效焓降; 热经济性; 余热回收

中图分类号: TM 621.2

文献标志码: B

文章编号: 1674 - 1951 (2018) 10 - 0037 - 03

## 0 引言

对 1 000 MW 燃煤发电机组相关运行数据进行分析, 当锅炉排烟温度升高 10 °C 时, 锅炉热效率将下降 0.5% 左右, 发电煤耗约升高 1.5 g/(kW · h)。因此, 锅炉排烟温度高的问题已成为严重影响发电机组运行经济性和安全性的一个难题。降低锅炉排烟温度、吸收锅炉排烟热损失对 1 000 MW 燃煤机组节能降耗和经济、安全运行具有现实意义。目前, 加装低温省煤器是有效回收锅炉排烟余热的措施之一<sup>[1]</sup>。华电莱州发电有限公司(以下简称莱州公司)1 000 MW 超超临界锅炉年平均排烟温度高达 126 °C, 吸收排烟余热, 提高机组热经济性势在必行。本文对莱州公司 #1 机组加装低温省煤器后 1 000, 750 MW 工况下的运行经济性进行分析。

## 1 设备及低温省煤器烟气、水侧参数

莱州公司 2 台 1 000 MW 超超临界机组燃煤锅炉为高效超超临界参数、单炉膛、一次中间再热、平衡通风、运转层以上露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 II 型变压直流炉。汽轮机为超超临界、一次中间再热、单轴四缸四排汽、凝汽式, 设计额定功率为 1 000 MW。

在机组小修烟气超低排放一体化协同治理中, 加装低温省煤器回收排烟热损失, 提高机组热经济性。1 000, 750 MW 工况下加装低温省煤器后烟气、水侧参数见表 1(表中 BMCR 为锅炉最大连续蒸发量)。

低温省煤器出口水温设计时, 考虑低温省煤器换热管低温腐蚀与静电除尘器运行的经济性。

表 1 1 000, 750 MW 工况下低温省煤器烟气、水侧参数

项目	100%/75% BMCR
低温省煤器入口烟温/°C	114.5/104.1
低温省煤器出口烟温/°C	93.4/92.9
单位烟气焓降/(kJ · kg <sup>-1</sup> )	244.9/108.2
低温省煤器入口水温/°C	64.0/71.0
低温省煤器入口水比焓/(kJ · kg <sup>-1</sup> )	253.0/267.1
低温省煤器出口水温/°C	106.7/104.1
低温省煤器出口水比焓/(kJ · kg <sup>-1</sup> )	447.4/436.4
低温省煤器凝结水量/(t · h <sup>-1</sup> )	464/306
热媒循环泵电流/A	143.7/90.5
分水流量系数/%	9.43/6.25

## 2 低温省煤器布置位置选择

莱州公司燃煤机组在电除尘器入口烟道上布置 6 台低温省煤器, 设置 3 台热媒循环泵(2 用 1 备)。低温省煤器布置位置选择考虑以下 2 点因素。

(1) 低温省煤器布置在锅炉静电除尘器之前, 将低温省煤器系统和汽轮机回热系统有机地联系在一起, 不会对一/二次风温、锅炉燃烧状况造成影响, 也不会降低空气预热器的换热量。同时, 低温省煤器在尾部烟道吸收的烟气热量可看做是排烟余热, 锅炉效率不会因此而变化。

(2) 低温省煤器布置在电除尘器入口烟道上, 降低电除尘器入口烟气温度, 从而使电除尘器性能升高。原烟气在低温省煤器内与热媒交换热量, 降低温度、粉尘比电阻, 温度降低的同时, 烟气流速相应减小, 在电除尘器内的停留时间就会增加, 使电除尘装置可以有效地对烟尘进行捕获, 从而达到更好的除尘效果。低温省煤器现场布置如图 1 所示。

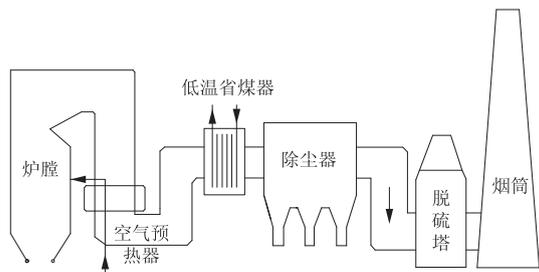


图 1 低温省煤器现场布置

### 3 低温省煤器凝结水取水选择

低温省煤器利用锅炉尾部烟道的排烟余热直接加热汽轮机回热系统中凝结水泵供出的低压主凝结水。低温省煤器系统可以通过串联或并联的方式布置在汽轮机低压加热器(以下简称低加)回路中,起到部分低加的相同作用,排挤汽轮机部分回热抽汽,在汽轮机进汽量不变的情况下,排挤抽汽返回至汽轮机继续膨胀做功,在燃料量不变的情况下可以多获得电功,提高机组热经济性<sup>[2]</sup>。

针对莱州公司机组 1000 MW 工况下,锅炉空气预热器出口排烟温度及汽机侧低加水侧运行参数,确定低温省煤器凝结水取水方案:凝结水从 #8 低加入口和 #7 低加出口主凝结水管分别取凝结水,混合后进入低温省煤器,吸热升温后再进入 #7 低加出口主凝结水管,从而实现热量的回收利用。低温省煤器凝结水取水方案如图 2 所示。

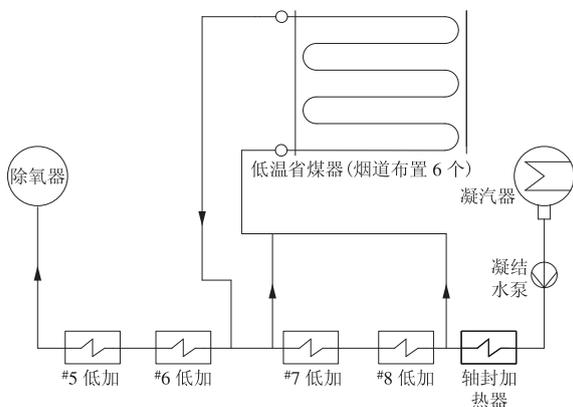


图 2 低温省煤器凝结水取水方案

### 4 加装低温省煤器热经济性分析

莱州公司低温省煤器凝结水取水方案中, #7 低加出口取水目的是与 #8 低加入口凝结水混合调节低温省煤器入口凝结水温度,因此,取水方案可看作 #8 低加入口取部分凝结水与低温省煤器并列布置。低温省煤器并联系统如图 3 所示。

低温省煤器并联系统从低加 No.  $x$  入口分流部分凝结水  $D_d$  流经低温省煤器,吸收排烟余热被加热升温后返回汽轮机回热系统,在低加 No.  $(m-1)$

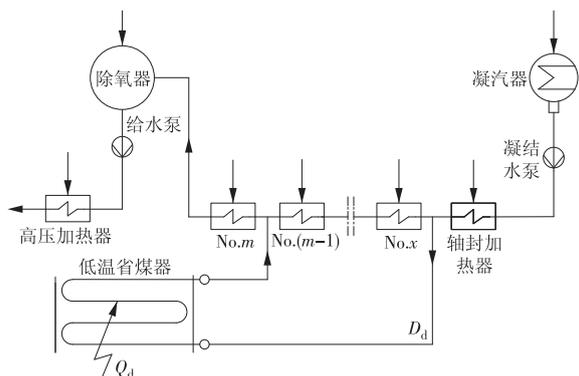


图 3 低温省煤器并联系统

的出口处与主凝结水相汇合。从凝结水流系统看,低温省煤器与 No.  $x$  至 No.  $(m-1)$  低加成并联运行方式。

经过低温省煤器的凝结水量  $D_d$  相对于 1 kg 新蒸汽的份额为

$$\alpha_d = \frac{D_d}{D}, \quad (1)$$

式中: $\alpha$  为份额,%;  $D_d$  为经过低温省煤器的凝结水量, kg/s;  $D$  为主蒸汽流量, kg/s。

依据等效热降原理<sup>[3]</sup>, 份额  $\alpha_d$  的凝结水从低加 No.  $x$  入口引出热系统, 从低加 No.  $(m-1)$  的出口进入热系统, 整个系统获得的实际做功收益为

$$\Delta H = \beta_d [(h_d - h_{m-1}) \eta_m + \sum_{r=1}^{m-1} \tau_r \eta_r], \quad (2)$$

式中: $\Delta H$  为加装低温省煤器使整个系统获得的实际做功收益, kJ/kg;  $\beta_d$  为分水流量系数, %;  $h_d$  为低温省煤器出口凝结水的比焓, kJ/kg;  $h_{m-1}$  为低加 No.  $(m-1)$  出口凝结水的比焓, kg/kJ;  $\eta_m$  为低加 No.  $m$  抽汽效率, %;  $\sum_{r=1}^{m-1} \tau_r \eta_r$  为并联各级低加的抽汽效率与凝结水焓升乘积之和, kJ/kg。

低温省煤器将机组热经济性提高相对量

$$\delta \eta_i = \frac{\Delta H}{H} \times 100\%, \quad (3)$$

式中: $H$  为新蒸汽等效焓降, kJ/kg;  $\eta_i$  为发电机组效率提高的相对值。

新蒸汽的等效焓降

$$H = \frac{3600}{\eta_b d}, \quad (4)$$

式中: $\eta_b$  为锅炉试验效率, %;  $d$  为机组汽耗率, kg/(kW·h)。

发电机组效率提高的相对值

$$\eta_i = \frac{\Delta H}{H + \Delta H} \times 100\% \quad (5)$$

发电机组热耗率降低相对值

$$\Delta q = q \Delta \eta_i, \quad (6)$$

式中: $q$  为机组热耗率, kJ/(kW·h)。

机组发电标准煤耗降低量

$$\Delta b = \frac{\Delta q}{29279\eta_i\eta_g} \times 10000, \quad (7)$$

式中: $\eta_g$  为管道效率,%。

机组全年煤耗降低量

表 2 1 000,750 MW 工况下低加经济性数据

项目	符号	单位	#8 低加	#7 低加	#6 低加
抽汽放热	$q_r$	kJ/kg	2 558.1/2 576.3	2 396.51/2 422.23	2 253.06/2 329.66
凝结吸热	$\tau_r$	kJ/kg	259.87/250.21	94.25/78.88	103.58/96.28
疏水放热	$\gamma_r$	kJ/kg	244.66/226.82	102.36/92.37	61.29/97.48
等效焓降	$H_r$	kJ/kg	158.69/171.75	226.64/231.10	221.83/221.26
抽汽效率	$\eta_r$	%	6.20/6.67	9.46/9.54	9.85/9.50

莱州公司 #1 机组加装低温省煤器后,1 000,750 MW 工况的机组经济性数据见表 3。

表 3 1 000,750 MW 工况加装低温省煤器经济数据

项目	符号	单位	数值
抽汽等效焓降增加	$\Delta H$	kJ/kg	2.12/1.45
系统经济性相对提高率	$\eta_i$	%	0.15/0.11
热耗降低量	$\Delta q$	kJ/(kW·h)	1.26/7.75
发电煤耗降低量	$\Delta b$	g/(kW·h)	0.42/0.29
全年节省标煤量	$\Delta B$	t	2 515/2 393
热煤循环泵电耗		kW·h	83.62/52.67
全年节约成本		万元	17.66/12.39

## 5 结论

(1) 莱州公司低温省煤器布置在静电除尘器入口烟道上,既降低了电除尘器入口烟气温度,提高了电除尘器除尘性能,同时充分吸收排烟余热,提高机组热经济性,位置布置方案具有现实指导意义。

(2) 考虑到受热面低温腐蚀,低温省煤器凝结水取水方案、分水流量系数需经过优化选择设计,保

(上接第 36 页)水回用量后的水质监督提供依据。

在加大中水回用量后,通过严格控制水质指标,实际生产过程中未出现循环冷却水系统明显结垢、腐蚀问题,保证了机组安全稳定运行。

做好循环水系统的监督与管理,一方面需要在机组运行期间继续安装模拟试验确定的控制标准做好水质监督控制,以及加强胶球清洗系统的投运及维护管理。另一方面也需要在机组停备用和检修期间做好凝汽器及相关系统的清淤、保护工作。

## 参考文献:

[1] 高秀山,张渡. 火电厂循环水冷却水处理[M]. 北京,中国电力出版社,2001.

$$\Delta B = \Delta b P n \times 10^{-6}, \quad (8)$$

式中: $P$  为发电机组额定功率,kW; $n$  为机组在额定功率年工作小时数。

1 000,750 MW 工况下汽轮机低加经济性数据见表 2。

证低温省煤器出口烟温维持在  $(90 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$ 。

(3) 机组加装低温省煤器后,1 000,750 MW 工况下利用等效焓降法进行热经济性分析,年节省标准煤量分别为 2 515/2 393 t,去除热煤循环泵电耗,年节约成本分别为 17.66/12.39 万元,提高了机组运行的热经济性。

## 参考文献:

[1] 邵青伍,冯晓君. 电厂锅炉排烟温度高的原因及处理措施[J]. 内蒙古科技与经济,2008(8):124.  
 [2] 黄嘉骊,李杨. 低压省煤器水侧系统连接方案优化分析[J]. 热力发电,2011,40(3):62-64.  
 [3] 周新军,房林铁,张红方,等. 330 MW 机组增装低压省煤器及经济性分析[J]. 节能,2011,30(6):16-20.

(本文责编:白银雷)

## 作者简介:

马记(1983—),男,山东滕州人,工程师,工学硕士,从事火电厂集控运行、节能分析方面的工作(E-mail:22849136@qq.com)。

[2] 吴晓伟. 循环水缓蚀阻垢剂的筛选模拟试验[J]. 贵州电力技术,2004(7):8-8.

[3] 工业循环冷却水处理设计规范:GB 50050—2007[S].

[4] 左景伊. 腐蚀数据手册[M]. 北京:化学工业出版社,1982.

[5] 火电厂凝汽器及辅机冷却器管选材导则:DL/T 712—2010[S].

(本文责编:白银雷)

## 作者简介:

杨其涛(1975—),男,山东滕州市人,工程师,从事火力发电厂化学技术监督管理及科技管理等工作(E-mail:yqt1018@126.com)。