

# 660 MW 机组锅炉增设低温省煤器的经济性分析

童家麟, 翁景

(国网浙江省电力公司电力科学研究院 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 排烟热损失是锅炉各项热损失中最大的一项, 影响排烟热损失的主要因素是排烟温度。电站锅炉在尾部烟道加装低温省煤器, 利用排烟余热加热凝结水, 可以降低脱硫系统的入口烟温。以国内某 660 MW 超超临界机组为研究对象, 用等效焓降法对低温省煤器的节能效果进行了计算分析。结果表明: 投运低温省煤器后, 发电煤耗降低 2.33 g/kWh, 节能效果显著; 与国内同类型采用回转再生式原烟气/净烟气换热器的机组相比, 引风机比压能下降约 1 000 Nm/kg, 工况点也得到了明显改善。

**关键词:** 低温省煤器; 余热利用; 发电煤耗; 引风机

中图分类号: TK223.3<sup>+</sup>3 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.03.013

## 引言

目前, 大容量、高效燃煤锅炉的效率大约为 45%, 其余热能则以不同形式排入环境中, 其中以锅炉排烟热损失、主凝汽器冷源损失和辅机循环水废热损失 3 部分为主。以往废热利用的主要注意力放在主凝汽器冷源损失上, 其损失热量约占锅炉蒸发总热量的 40%, 如热泵技术、海水淡化技术等, 取得了良好的节能效果<sup>[1~3]</sup>。锅炉排烟由于烟气比热低、烟气流速快和烟气成分复杂等缺点, 这部分热量难以被回收, 而有效回收这部分热量正是降低煤耗、提高机组热效率的关键。

锅炉烟气余热利用的主要方式有: (1) 利用换热器回收热量用于供暖、制冷和其它工业生产过程; (2) 利用低温省煤器回收热量, 增加汽轮机的输出功率<sup>[4]</sup>。对于第 1 种方式, 受外部条件制约较多。在锅炉尾部空气预热器与电除尘之间的烟道上增设低温省煤器, 利用锅炉排烟余热增加凝结水温度, 提高机组热效率是近年来实现节能减排的一项新的技术。该技术排烟余热利用程度较高, 经济性较好, 受外部因素制约较少, 且可以把锅炉排烟温度降到湿法脱硫所需温度, 减少了脱硫系统用水量, 缺点是凝

结水系统阻力增大<sup>[5]</sup>。本研究以某增设低温省煤器的新建机组为研究对象, 用等效焓降法对该机组增设低温省煤器的经济性做了定量研究, 以期为今后研究同类型问题提供借鉴。

## 1 研究对象概况

某新建工程锅炉为超超临界参数变压运行垂直管圈水冷壁直流锅炉, 由哈尔滨锅炉厂设计制造, 型号为 HG-1968/29.3-YM7, 采用 II 型布置, 单炉膛、一次再热、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢结构架、全悬吊结构、低 NO<sub>x</sub> 主燃烧器和四角墙式切圆燃烧方式; 配上海汽轮机厂的 N660-28/600/620 超超临界、一次中间再热、反动凝汽式汽轮机。单炉膛低温省煤器分成两个部分, 分别布置在电除尘之前的两个垂直烟道上。其入口凝结水取自 7 号低压加热器出口, 经低温省煤器加热后, 引入 6 号低压加热器入口, 利用级间压降克服低温省煤器本体及其连接管路的流阻, 不必增设水泵, 提高了运行可靠性, 同时设置了再循环回路和功能旁路, 实现了排烟余热的梯级利用, 其热力系统如图 1 所示。

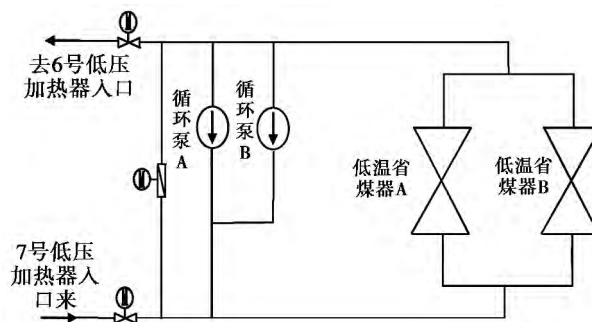


图 1 低温省煤器原则性热力系统图

Fig. 1 Diagram of a principle thermal system for low temperature economizers

收稿日期: 2015-01-15; 修订日期: 2015-03-22

作者简介: 童家麟(1986-), 男, 浙江杭州人, 国网浙江省电力公司电力科学研究院工程师。

为保证低温省煤器不发生低温腐蚀,在7号低压加热器出口水温较低时,凝结水不进入低温省煤器,直接进入6号低压加热器;当7号低压加热器出口水温大于60℃,凝结水进入低温省煤器以回收烟气余热,同时运行循环泵,使得进入低温省煤器凝结水温度大于72℃,高于烟气的酸露点温度,防止其酸腐蚀。

低温省煤器换热面主要使用了翅片管,与普通受热面相比,翅片管传热性能好,但易于积灰,因此设置有吹灰系统,吹灰汽源来自辅助蒸汽,并设置有水冲洗系统,在机组停运期间或阻力过大时进行水冲洗。

## 2 低温省煤器对机组热经济性的影响

### 2.1 低温省煤器对机组设备的影响

(1) 锅炉排烟温度降低,并未改变空气预热器出口烟气温度的,最终仅影响机组供电煤耗,既不会降低入炉热风温度而影响锅炉燃烧,也不会影响锅炉效率;

(2) 增设低温省煤器后,锅炉受热面增加,但锅炉引风机设计一般有一定的裕量,故不会影响引风机和锅炉的正常出力;

(3) 增设低温省煤器后,进入脱硫塔的烟气温度降低约30℃,仍高于脱硫绝热平衡温度,对脱硫效率不产生影响;

(4) 低温省煤器把烟气余热输入回热系统中会减少部分低压抽汽量,减少的部分抽汽会增加机组排汽量,从而降低真空度。660 MW 机组在满负荷下投入低温省煤器对真空度的影响仅为0.04 kPa,影响主蒸汽等效焓降为0.04%,故对真空度下降的影响也可忽略;

(5) 低温省煤器回水点在6号低压加热器入口,由于回水点在除氧器之前,故对锅炉给水温度没有影响<sup>[6]</sup>。

综上,尾部烟道增设低温省煤器后,对机组其它设备运行影响并不大,利用该设备回收烟气余热是可行的。

### 2.2 计算方法及计算结果

增设低温省煤器后,相当于增加了一个提供低品位热源的低压加热器<sup>[7]</sup>,通过排烟余热加热凝结水,减少了6段抽汽的抽汽量,这部分抽汽可以继续

在汽轮机内做功,从而提高了机组的热效率。在计算中,不考虑减温水、吹灰等对蒸汽流量变化的影响。

主蒸汽的等效焓降为:

$$H = Q \times \eta \tag{1}$$

式中:  $Q$ —1 kg 给水在锅炉中的吸热量, kJ/kg;  $\eta$ —机组循环热效率, %。

由于6段抽汽量的减少导致主蒸汽等效焓降的增加值为:

$$\Delta H_6 = \alpha_6 (h_6 - h_7) \tag{2}$$

式中:  $\alpha_6$ —6段抽汽的减少量占主蒸汽量的份额;  $h_6$ —6段抽汽焓值, kJ/kg;  $h_7$ —排汽焓, kJ/kg。

因6段抽汽量减少,导致机组绝热效率的增加值为:

$$\Delta \eta = \Delta H_6 / (H + \Delta H_6) \tag{3}$$

式中:  $H$ —未使用低温省煤器时的1 kg 主蒸汽的等效焓降, kJ/kg。

机组在满负荷下的主要参数及其计算结果如表1所示。

表1 机组满负荷下的主要参数  
Tab.1 Main parameters of the unit at the full load

参数	数值
机组绝对热效率/%	45.2
6段抽汽减少量/t·h <sup>-1</sup>	62.9
未使用低温省煤器的1 kg 主蒸汽的等效焓降/kJ·kg <sup>-1</sup>	1 225.6
6段抽汽量的减少导致主蒸汽等效焓降的增加值/kJ·kg <sup>-1</sup>	10.4
机组绝对热效率的增加值/%	0.85
机组发电煤耗实际减少值/g·(kWh) <sup>-1</sup>	2.33

由表1 计算结果可知,该机组在100% 热耗率THA(验收工况)下投运低温省煤器后,机组绝对热效率提高0.85%,煤耗降低值达2.33 g/kWh,节能效果显著。同时,锅炉的排烟温度也从127℃降至90℃,很好地取代了GGH(净烟气换热器)降低排烟温度的功能,可节约用水约70 t/h。由文献[5]可知,随着排烟温度的降低,电除尘下游的烟气流量也随之降低约5%,引风机的功率也有所降低,660 MW 机组可降低厂用电约1 000 kW。

### 2.3 不同负荷下增设低温省煤器对机组热经济性的影响

图2为在100% THA,75% THA,50% THA 3个工况下低温省煤器对机组发电煤耗的影响。3个负

荷下,低温省煤器均可降低机组发电煤耗。在低负荷下效果尤为显著。原因是,受空气预热器低温腐蚀的制约,锅炉的设计排烟温度一般为 120 ~ 140 °C [8],文献 [9]认为排烟温度相差 10 °C,锅炉效率相差约 0.5% ~ 0.7%,增加机组发电煤耗 1.5 ~ 2.1 g/(kWh)。随着低碳经济要求的不断提高和煤价的不断攀升,运行中尽可能降低锅炉排烟温度。在各负荷下控制排烟温度在 120 °C 左右;在实际运行中,为保证锅炉在低负荷下充分燃尽煤粉,其送风量往往大于实际所需的送风量,故在低负荷下,低温省煤器回收烟气余热产生的节能效果更为显著。

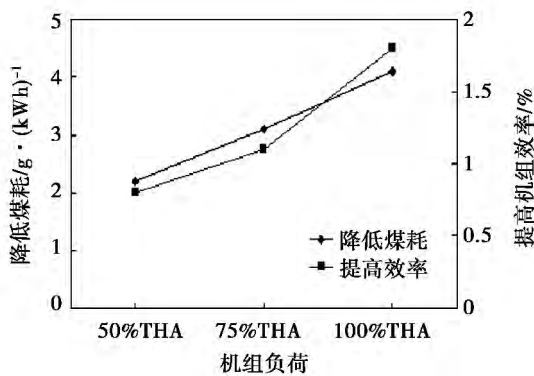


图 2 不同工况下发电效率和发电煤耗变化值  
Fig. 2 Variation values of the power generation efficiency and coal consumption rate under various operating conditions

### 3 提高机组的安全性

以往为了使锅炉排烟温度降到湿法脱硫所需温度,国内大多数湿法脱硫装置,采用了回转再生式原烟气/GGH,以降低烟气温度 [10]。总结目前国内 300 ~ 1 000 MW 机组采用 GGH 的脱硫系统运行情况,GGH 几乎是整个脱硫系统最大的故障点,其换热元件较易出现堵塞、结垢现象,导致阻力增大,严重时致使脱硫系统停运,这是环保要求所不允许的。增设低温省煤器后,可以取代 GGH 降低烟气温度的功能,从而避免了 GGH 较易堵塞的问题。增设低温省煤器后会使烟气阻力有所增大,增加了引风机的功率,增加电耗约 800 kW。图 3 为本机组引风机的工况点和国内同类型机组增设 GGH 后引风机的工况点。由图可知,增设 GGH 的机组引风机功率明显

增大,工况点也更靠近理论失速线,较增设低温省煤器的机组,引风机电耗增加约 1 200 kW。

综上所述,增设低温省煤器后,引风机功率较增设 GGH 机组有了明显降低,安全性随之大为提高,减小了脱硫系统停运的风险。

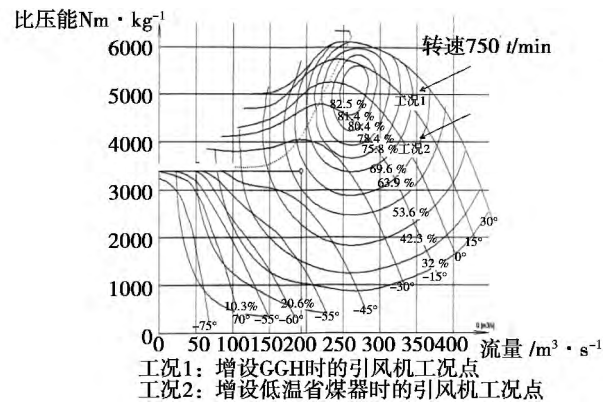


图 3 增设低温省煤器和增设 GGH 时的引风机工况点比较

Fig. 3 Comparison of the operating condition points of the draft fan when a low-temperature economizer and a gas-gas heater is additionally installed

### 4 低温省煤器存在的风险及运行调整

尽管低温省煤器可以有效地降低煤耗,改善引风机的运行工况,但其作为一种新的系统给机组带来的风险也不容忽视。这主要表现在:(1) 烟气温度过低,容易发生低温腐蚀;(2) 受热面较易发生积灰等现象,使得烟气流阻增大;(3) 进入电除尘的烟气温度较低,电除尘灰斗较易堵灰;(4) 凝结水系统阻力增大,凝结水泵电耗增加。

为确保机组的安全运行,在实际运用中采取以下措施:

- (1) 确保进入低温省煤器的凝结水温度大于 72 °C,在 7 号低压加热器出口温度大于 60 °C 小于 72 °C 时,运行循环水泵,以提高凝结水的温度;
- (2) 运行时加强对低温省煤器的吹灰,严密监视系统压差,发现压差异常升高,及时解决问题,以保证机组的稳定运行;
- (3) 及时对电除尘进行输灰,避免因飞灰温度过低堵塞输灰管;
- (4) 加强对引风机、凝结水泵运行工况的监视,

确保其在合理的工况范围内运行。

### 5 结 论

(1) 尾部烟道增设低温省煤器后,对机组其它设备运行的影响并不大,利用该设备回收烟气余热是可行的;

(2) 国内某 660 MW 超超临界机组采用低温省煤器,满负荷下可使机组绝对热效率提高 0.85%,发电煤耗降低 2.33 g/kWh,节能效果显著,在低负荷下效果更为明显。

(3) 投运低温省煤器后,锅炉排烟温度降低约 37℃,满足了湿法脱硫所需温度,与国内同类型采用 GGH 的机组相比,引风机工况点得到明显改善,且节水效果显著。

### 参考文献:

[1] 鲁海军,温高. 电站余热淡化海水研究[J]. 绿色科技, 2011(12): 206-207.  
 LU Hai-jun, WEN Gao. Research of seawater desalination by utilizing waste heat from power plants [J]. Journal of Green Science and Technology, 2011(12): 206-207.

[2] 王力彪,李染生,王斌,等. 基于吸收式热泵的循环水余热利用技术在大型抽凝机组热电联产中的应用[J]. 汽轮机技术, 2011, 53(6): 470-472.  
 WANG Li-biao, LI Ran-sheng, WANG Bin, et al. Applications of the absorption type heat pump-based circulating water waste heat utilization technology in the cogeneration production made by large-sized steam extraction and condensing type steam turbine units [J]. Steam Turbine Technology, 2011, 53(6): 470-472.

[3] 叶学民,童家麟,吴杰,等. 超临界 660 MW 机组废热利用经济性分析[J]. 热力发电, 2013, 42(4): 14-16.  
 YE Xue-min, TONG Jia-lin, WU Jie, et al. Cost-effectiveness analysis of the utilization of waste heat from a supercritical 660 MW unit [J]. Thermal Power Generation, 2013, 42(4): 14-16.

[4] 李剑锋,朱超,冷杰,等. 降低锅炉排烟温度的 2 种方式比较[J]. 中国电力, 2012, 45(7): 28-32.  
 LI Jian-feng, ZHU Chao, LENG Jie, et al. Comparison of the two

modes for reducing the temperature of flue gases from a boiler [J]. China Electric Power, 2012, 45(7): 28-32.

[5] 刘鹤中,连正权. 低温省煤器在火力发电厂中的运用探讨[J]. 电力勘测设计, 2010(4): 32-38.  
 LIU He-zhong, LIAN Zheng-quan. Exploratory study of the application of low temperature economizers in thermal power plants [J]. Electric Power Survey & Design, 2010(4): 32-38.

[6] 石岩,梁秀进. 300 MW 机组加装低温省煤器系统节能分析[J]. 华电技术, 2012, 34(8): 73-76.  
 SHI Yan, LIANG Xiu-jin. Energy-saving analysis of a system for a 300 MW unit additionally installed with a low temperature economizer [J]. Huadian Technology, 2012, 34(8): 73-76.

[7] 任彦,赵宁,陈晓峰. 火力发电厂低压省煤器系统的节能效果研究[J]. 热能动力工程, 2013, 28(4): 372-375.  
 REN Yan, ZHAO Ning, CHEN Xiao-feng. Study of the energy-saving effectiveness of a low pressure economizer system in a thermal power plant [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2013, 28(4): 372-375.

[8] 张基标,郝卫,赵之军,等. 锅炉烟气低温腐蚀的理论研究和工程实践[J]. 动力工程学报, 2011, 31(10): 730-733.  
 ZHANG Ji-biao, HAO Wei, ZHAO Zhi-jun, et al. Theoretical study and engineering practice of the low temperature corrosion and erosion caused by flue gases from boilers [J]. Journal of Power Engineering, 2011, 31(10): 730-733.

[9] 阎维平,董静兰. 超临界机组锅炉运行排烟温度偏高原因探讨[J]. 热力发电, 2010, 39(8): 33-37.  
 YAN Wei-ping, DONG Jing-lan. Exploratory study of the causes for the fact that the temperature of the exhaust gases from a boiler during its operation is excessively high [J]. Thermal Power Generation, 2010, 39(8): 33-37.

[10] 倪迎春. 电厂 GGH 积灰结垢的原因分析与处理措施[J]. 电力科学与工程, 2010, 26(8): 61-64.  
 NI Ying-chun. Analysis of the causes and countermeasures for dust deposition and fouling in a gas-gas heater in a power plant [J]. Electric Power Science and Engineering, 2010, 26(8): 61-64.

(刘瑶 编辑)

ly from Class-I and Class-II ports ,increasing the charging quantity from Class-II port is the key to the increase of L-valve returning flow rate. Compared with the increase of charging quantity from Class-II port ,more stable system operation can be achieved by increasing the charging quantity from Class-I port and the best system operation stability can be got when the charging quantity is of  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ . The L-valve resistance will increase with the increase of charging quantity from Class-I port ,but will decrease with the increase of charging quantity from Class-II port ,so increasing the charging quantity from Class-II port will become the effective way for reducing the valve resistance. With air charged jointly from Class-I and Class-II ports ,compared with the L-valve returning capability achieved as the air charging quantity from air charging port g in horizontal section being of  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  ,greater L-valve returning capability can be achieved as the air charging quantity from air charging port b in vertical section being of  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Increasing the charging quantity from Class-I port can achieve more stable system operation. When the charging quantity being of  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  ,the best system operation stability can be reached. **Key words:** high density circulating fluidized bed ( HDCFB) ,L-valve ,air distribution mode ,returning characteristics

660 MW 机组增设低温省煤器的经济性分析 = **Economic Analysis for 660 MW Unit Added with Low-temperature Economizer** [刊 汉]TONG Jia-lin ,WENG Jing ( Electric Power Research Institute of State Grid Zhejiang Electric Power Company ,Hangzhou ,Zhejiang Province ,China ,Post Code: 310014) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31( 3) . -83 -86

The heat loss of the exhaust gas is the greatest loss in all kinds of the boiler heat loss. The major influence factor on the heat loss of the exhaust gas is the exhaust gas temperature. Adding a low-temperature economizer into the rear duct of power station boiler and utilizing the waste heat of the exhaust gas to heat condensate water can decrease the inlet flue gas temperature of desulfurization system. Taking a domestic 660MW ultra-supercritical unit as the study object ,the paper uses the equivalent enthalpy drop method for the calculation and analysis on the energy-saving effect of low-temperature economizer. The calculation results show that the coal consumption rate for power generation can be decreased by  $2.33 \text{ g/kWh}$  after low-temperature economizers put into operation and the significant energy-saving effect can be achieved. Compared to the domestic same-type Gas-Gas-Heater units ,the specific pressure of induced draft fan can drop about  $1000 \text{ NM/kg}$  and the operating point can be improved remarkably. **Key words:** low-temperature economizer ,waste heat utilization ,coal consumption rate for power generation ,induced draft fan

基于热力学模型的烧结环冷机漏风率测算方法研究 = **Study on Calculating Method for Air Leakage Rate of**