

# 超超临界 660 MW 塔式锅炉末级过热器炉内外壁温对比分析

李兆祥

(华能罗源发电有限责任公司,福建 福州 350000)

**摘要:**利用超超临界 660 MW 塔式锅炉末级过热器炉内外壁温测点数据,分析在不同负荷下炉内壁温与炉外壁温的关系。结果表明:机组运行过程中,要关注管屏以及同屏管间热负荷分布情况,以便及时通过燃烧调整消除热偏差;随负荷变化,炉内外壁温变化趋势相同,炉外壁温经估算后能够反映炉内管壁的实际温度;壁温监测需要炉内外壁温测点相互配合,以防炉内温度测点所在位置不是热负荷高的区域。

**关键词:**超超临界;塔式炉;末级过热器;壁温;热偏差

**中图分类号:**TK223.3;TK311 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2019)02-0033-04

近年来,大型锅炉“四管爆漏”造成的事故越来越多。据统计,锅炉事故中的 60%~70% 为“四管爆漏”所致,“四管爆漏”已经成为大中型燃煤机组非正常停机的首要原因。在“四管爆漏”事故中末级过热器超温爆管所占比例较大<sup>[1-3]</sup>。虽然目前大型锅炉末级过热器已采用 Super304H、HR3C 等更耐高温的奥氏体耐热钢<sup>[4-5]</sup>,但运行中热偏差过大仍会使热负荷偏大的管子壁温超过材料许用温度而发生超温爆管。文献[6]指出 HR3C 管材壁温超过许用温度 10℃,其使用寿命将由  $1.0 \times 10^5$  h 降至  $6.7 \times 10^4$  h,寿命缩短 33%。由此可见,运行过程中控制管子壁温,特别是掌握末级过热器区域高温管屏所在位置以及屏中危险管的炉内壁温水平至关重要。目前,大型锅炉通过在末级过热器管屏安装炉内测温点来判断该区域热负荷分布情况,从而能够及时采取措施,控制末级过热器壁温。然而炉内壁测温点所处工作环境极为恶劣,长期受到高温烟尘和高速气流冲击,容易出现故障。在实际生产过程中,常发生热电偶损坏后无法更换,从而影响炉内温度监测,给锅炉安全运行带来极大威胁。基于此,有必要建立末级过热器炉内外壁温关系,一旦炉内测点发生故障,仍可利用炉外壁温对炉内壁温进行监视。

目前关于炉内壁温与炉外壁温以及负荷等参

数间的关系研究主要针对Ⅱ型炉,而在塔式炉上的应用与研究,文献鲜有报道。因此,有必要通过研究建立塔式锅炉在不同运行工况下炉内壁温与炉外壁温的对应关系,为该类锅炉末级过热器管壁温度监测以及寿命诊断提供参考。

## 1 锅炉概况

某电厂建设 2 台 660 MW 超超临界参数变压运行由螺旋管圈、单炉膛、一次中间再热、四角切圆燃烧方式、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢架悬吊结构构成的塔式炉,其主要参数设计如表 1 所示。

表 1 锅炉主要技术参数  
Table 1 Main technical parameters of boiler

参 数	BMCR	BRL
主蒸汽流量/(t·h <sup>-1</sup> )	2025.50	1929.10
主蒸汽温度/℃	605.00	605.00
主蒸汽压力(表压)/MPa	29.30	29.30
再热器进口压力(表压)/MPa	5.85	5.54
再热器进口温度/℃	361.00	366.00
再热器出口压力(表压)/MPa	5.68	5.38
再热器出口温度/℃	623.00	623.00
再热蒸汽流量/(t·h <sup>-1</sup> )	1692.20	1605.70
给水温度/℃	305.70	302.00

注:BMCR 为锅炉最大连续出力工况;BRL 为锅炉额定出力工况。

收稿日期:2018-11-08

作者简介:李兆祥(1988—),男,福建三明人,工程师,硕士,主要研究方向为电站金属材料与高温部件寿命评估。

锅炉给水由炉前管道依次流经一级省煤器、二级省煤器,汇合在水冷壁下集箱;然后螺旋进入炉膛四周螺旋段水冷壁,经水冷壁过渡连接管引至水冷壁中间集箱;经中间集箱混合后再由连接管引出,经过渡段形成中部垂直段水冷壁;水在水冷壁内吸热形成汽水混合物,汇集至水冷壁上集箱,通过水冷壁引出管引入到汽水分离器,在汽水分离器内进行汽水分离。从汽水分离器引出的蒸汽依次流过一级过热器进口段、悬吊管过热器、屏式过热器、二级过热器和末级过热器,然后通过主蒸气管道送出,其受热面布置如图 1 所示。由图 1 可知,炉膛出口高温烟气依次流过屏式过热器、末级过热器、末级再热器、二级过热器、一级再热器、二级省煤器、一级过热器进口段以及 SCR 出口布置的一级省煤器。

## 2 炉内外壁温测量

本锅炉的末级过热器管屏共 20 片,沿炉膛宽度均匀布置,其横向节距为 960 mm,纵向节距为

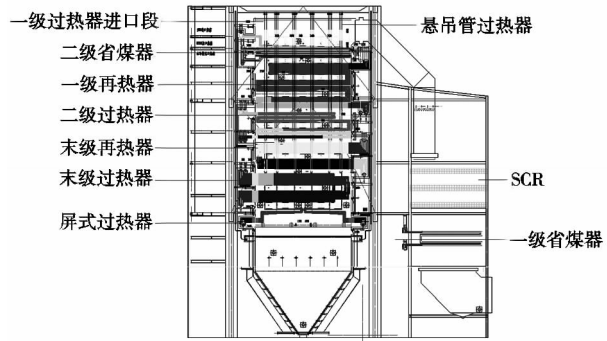


图 1 受热面布置图

Fig. 1 Layout of the heating surface

60 mm。每片管屏有 40 根管子组成,将管屏自下而上编号,则 1 号管表示最外圈管,40 号管为最内圈管;1~10 号管以及 40 号管的水平段在炉膛宽度方向较短形成一个矮胖型 U 型管组,11~39 号管则在炉膛宽度方向伸展为瘦长型 U 型管组,其结构简图如图 2 所示。

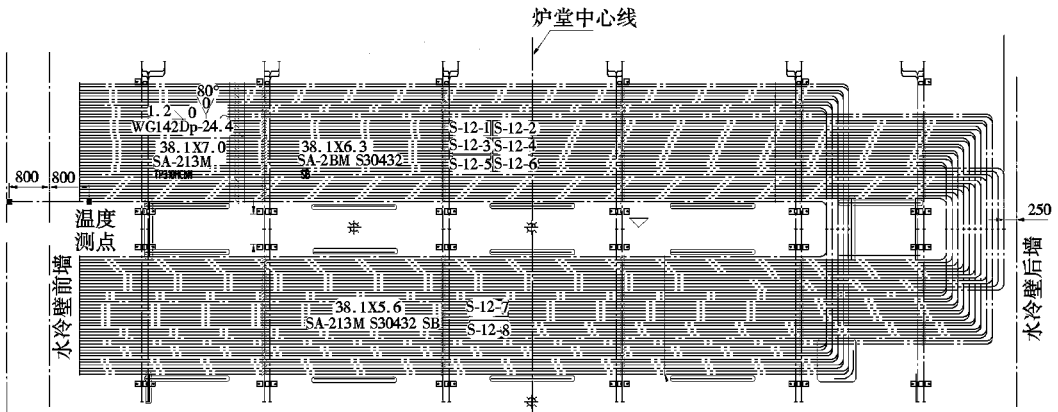


图 2 末级过热器结构简图

Fig. 2 Structural diagram of final superheater

为了了解末级过热器炉内外壁温的关系以及沿炉膛宽度方向热负荷分布情况,在左起第 5 片、第 8 片、第 12 片、第 15 片管屏的第 40 根管子的外壁分别装设炉内外壁温测点以及在第 5、第 15 片管屏所有管子出口处装设炉外壁温测点,采用铠装型热电偶进行测量。炉内壁温测点的热电偶通过保护套管穿过水冷壁鳍片引出,与炉外测点的热电偶沿线盒一起引至锅炉壁温数据采集控制柜。采集数据引入 DCS,并同步存入 MIS 系统中的生产实时数据库。

## 3 结果及分析

末级过热器左起第 5 片、第 8 片、第 12 片、第 15 片管屏的第 40 根管子测得的炉内外壁温与机组负荷间的关系曲线如图 3 所示。由图 3 可知,各屏炉内外壁温随机组负荷变化规律相同,均呈先上升后下降再上升的趋势,但炉内壁温的波动幅度较大。其中机组负荷升至 270 MW 时,各屏炉内壁温均达到一个小高峰;进一步增加负荷,各屏壁温开始下降,至 400 MW 时壁温又开始上升,满负荷时壁温达到峰值。可见,低负荷时末级过

热器壁温甚至超过高负荷时的壁温。文献[7]认为这种现象与机组启动调整过程中负荷的波动幅度较大、风量过小、风速过快以及工质流量过小等有关,本文在分析本锅炉运行数据后,认为本锅炉末级过热器出现该现象主要是由于低负荷时工质流量偏小以及运行方式改变造成的。从图3还可以看出,无论负荷高低,末级过热器左起第5片屏的炉内外壁温最低,第15片屏的炉内外壁温最高,呈现出明显的“左低右高”现象。同时,查阅运行记录也发现末级过热器右侧出口蒸汽温度明显高于左侧,二者相差约为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由此可见,末

级过热器区域热负荷分布存在明显差异,这可能由以下原因所致:一、炉膛出口存在一定程度的烟气残余旋转;二、四个角风速不均造成火焰中心偏斜;三、燃烧器在制造、安装、调试过程中产生偏差导致运行中火球不居中。基于此,为了有效减轻甚至消除管屏间温度差异,一方面通过水冷壁出口壁温、各级高温受热面左右侧温升判断火焰中心偏斜程度以便及时调整四个角配风来纠正火焰中心位置;另一方面当火焰中心居中后,通过调整SOFA水平摆角和风门开度,消减烟气残余旋转动量。

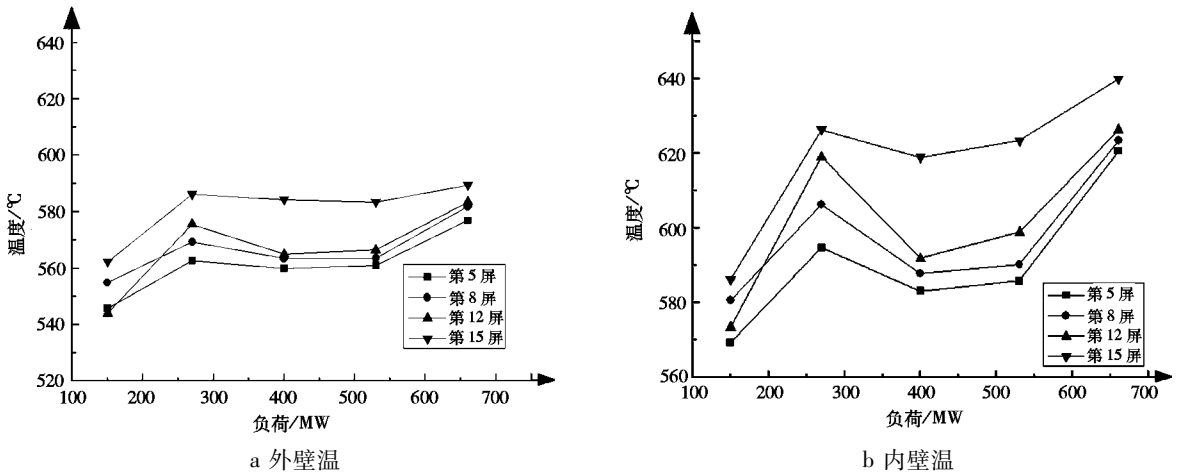


图3 不同负荷下末级过热器管屏的最内圈管测得的内外壁温分布

Fig. 3 The inner and outer wall temperature distribution measured by the innermost tube of the final superheater under different loads

比较图3a和图3b,可知各屏的第40根管子测得的炉内壁温均高于炉外,二者温差见表2。由表2可知,不同管屏的同根管子在不同负荷下的炉内外壁温差均不同,但在一定范围内波动;满负荷时,各屏炉内外壁温差达到最大,其中又以第15片屏偏差最大,达 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此,一旦炉内测点发生故障,在炉外壁温的基础上加上 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 可估算末级过热器炉内壁温,且具有一定的安全裕度,这与文献[8-9]研究结果一致。但满负荷时,炉内温度最高测点(第15屏)所对应的炉外壁温仅为 $590\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,明显低于当时主汽温度,排除测量热电偶故障,主要考虑该测点可能安装在同屏管中温度较低的管子上。为此,分别对满负荷时末级过热器左起第5、第15片屏炉外壁温测点数据绘制曲线,如图4所示。由图4可知,最内圈管子壁温最低,最外圈管子壁温非最高,壁温最高的是第27号管,同屏管间最大偏差可达 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。显然,同屏管间存在明显的热偏差,炉内测点所在位置不一

定是壁温最高处。在现有运行方式下要重点监控第15片屏第27号管的炉外壁温,该管炉内壁温可按炉外壁温加 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 来确定,即可对末级过热器区域管壁温度做到胸中有数,避免超温和氧化垢过量生成。综上可知,机组运行过程中,壁温监测需要炉内外壁温测点相互配合,以防炉内测点所在位置不是热负荷高的区域。

表2 不同负荷下管屏的最内圈管测得的炉内外壁温差

Table 2 Temperature difference between the inner and outer walls of the furnace measured by the innermost tube under different loads  $^{\circ}\text{C}$

负荷/MW	第5屏	第8屏	第12屏	第15屏
150	24	26	30	34
270	32	37	43	40
400	23	24	27	35
530	25	27	32	40
660	35	42	43	45

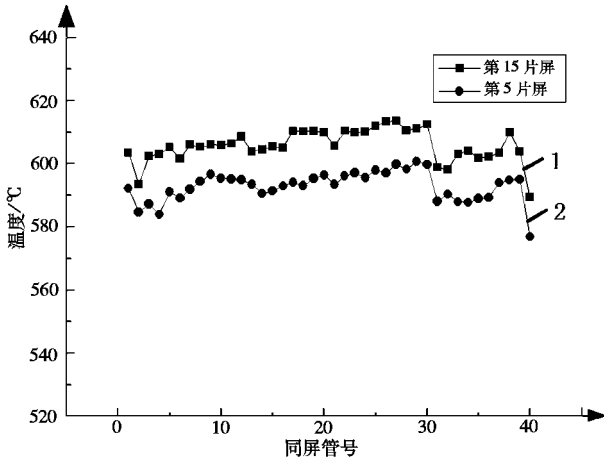


图 4 满负荷时同屏管子温度分布

Fig.4 Temperature distribution in the same panel of final superheater under full load

### 4 结论

通过对超超临界 660 MW 塔式锅炉末级过热器炉内外壁温数据的对比分析,得出如下结论:

(1) 机组运行过程中,要关注管屏以及同屏管间热负荷分布情况,以便及时通过燃烧调整消除热偏差。

(2) 随负荷变化,炉内外壁温变化趋势相同,炉外壁温经估算后能够反映炉内的实际管壁温度。

(3) 壁温监测需要炉内外壁温测点相互配合,以防炉内测点所在位置不是热负荷高的区域。

### 参考文献:

[1] 佟鹏,安连锁,姜根山,等. 锅炉“四管”泄漏参数比较分析[J]. 锅炉技术,2009,40(2):60-62.

[2] 陈捷,陆云. 2016 年度上海并网发电厂发电锅炉“四管”泄漏统计及案例分析[J]. 电力与能源,2017,38(2):170-175.

[3] 鲁忠科,鲁玺梦,万勇. 锅炉“四管”及热力系统主要承压管道泄漏原因分析与预防[J]. 锅炉技术,2011,42(4):53-56.

[4] 李兆祥. 新型耐热钢 NF709 的研究进展[J]. 盐城工学院学报(自然科学版),2018,31(1):1-5.

[5] 徐向棋,吕昭平. 新一代新型抗高温氧化奥氏体耐热钢的研究进展[J]. 中国材料进展,2011,30(12):1-5.

[6] 丁伟平. 超超临界锅炉高温管屏壁温在线监测系统的应用[J]. 锅炉技术,2015,46(3):66-69.

[7] 康科伟,施子福,李培,等. 660 MW 锅炉超低负荷段燃烧优化试验研究[J]. 浙江电力,2018,37(5):51-55.

[8] 徐海川,余艳芝,张良波,等. 超临界锅炉过热器炉内外壁温对比试验及分析[J]. 热能动力工程,2011,26(2):202-206.

[9] 赵志宏,付喜亮,刘吉,等. 炉内壁温测点的应用及分析[J]. 电力科学与工程,2015,31(11):59-65.

## Contrastive Analysis of the Inner and Outer Wall Temperature of the Final Superheater of Ultra-supercritical 660 MW Tower Boiler

LI Zhaoxiang

(Huaneng Luoyuan Power Generation., LTD, Fuzhou Fujian 350000, China)

**Abstract:** The relationship between the inner and outer wall temperature of the final superheater of a 660 MW ultra-supercritical Tower Boiler under different loads is analyzed by using the measured data of the inner and outer wall temperature of the furnace at different loads. The results show that during the operation of the unit, attention should be paid to the distribution of heat load between the tube panels and the same screen tubes so as to eliminate the thermal deviation in time through combustion adjustment. With the change of load, the change trend of inner and outer wall temperature is the same. The estimated outer wall temperature can reflect the actual temperature of inner wall of furnace. Wall temperature monitoring needs the cooperation of temperature measuring points inside and outside the furnace, so as to prevent the location of temperature measuring points in the furnace from being in the area of high heat load.

**Keywords:** ultra supercritical; tower boiler; final superheater; wall temperature; thermal deviation

(责任编辑:李华云)