

# 主蒸汽温度异常原因及处理方法

## Reasons and Treatment Methods for Abnormal Main Steam Temperature

谢剑文

Jianwen Xie

杭州热电集团能源技术管理有限公司 中国·浙江 杭州 310052

Hangzhou Thermal Power Group Energy Technology Management Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310052, China

**摘要:** 相比其他民用工业部门,在电力工业中,电厂热工生产过程自动化技术历史更长,自动化水平也相对较高。对于电厂生产技术是否具有先进性,主要以电厂热工自动化水平作为衡量标准。过热蒸汽、再热蒸汽温度调节是锅炉气温控制两大系统。要想保证机组能够安全经济运行,主蒸汽温度和再热蒸汽温度需要具有较强的稳定性。

**Abstract:** Compared with other civil industrial sectors, in the power industry, the automation technology of thermal production process in power plants has a longer history and a relatively high level of automation. Whether the production technology of the power plant is progressiveness is mainly measured by the thermal automation level of the power plant. The temperature regulation of superheated steam and reheated steam are two major systems of boiler temperature control. In order to ensure the safe and economic operation of the unit, the main steam temperature and reheat steam temperature need to have strong stability.

**关键词:** 电厂热工; 主蒸汽温度; 影响汽温变化的因素

**Keywords:** thermal engineering of power plant; main steam temperature; factors affecting steam temperature change

**DOI:** 10.12346/peti.v5i1.7534

## 1 引言

杭州协联热电有限公司的 220t/h 循环流化床(CFB)锅炉,是由奥斯龙 PYROPOWER(PPC)公司负责设计,由哈尔滨锅炉厂进行技术设计转化和制造,所采用的是循环流化床燃烧方式。设计煤种为烟煤。配 CC25-8.83/4.02/0.981-I 型汽轮机。在机组整个汽水行程中,工质温度的最高点就是过热器出口处的过热蒸汽温度。过热器所采用的是合金钢材料,耐热,耐高温,在正常运行状态下,几乎能达到材料所允许的最高温度。如果温度过高,过热器很容易受损,各种零部件受热膨胀影响也会遭毁坏,整个机组安全运行会受很大影响。

## 2 影响主蒸汽温度变化的主要因素

要想稳定主蒸汽温度,必须找出引起温度变化的各种因素,根据锅炉工况变化找出问题并进行有效处理。参照能量平衡关系,过热器出口蒸汽焓为:

$$h'' = h' + Q - \Delta h$$

其中,  $h''$  和  $h'$  为过热器进口蒸汽的焓;  $B$  为燃料消耗量;  $Q$  为每千克燃料所传递的热量,单位均为  $\text{kJ/kg}$ ;  $D$  表示的是热器内蒸汽流量,  $\text{KJ/s}$ ;  $\Delta h$  每千克蒸汽因减温而降低的焓值,  $\text{kJ/kg}$ 。

蒸汽侧条件和烟气侧条件都会影响到烟气对蒸汽的放热量 ( $Q$ ), 其中烟气侧条件的影响较大,故也归入烟气侧的因素。其余三项,过热器进口蒸汽的焓 ( $h'$ )、过热器内蒸汽流量 ( $D$ )、每千克蒸汽因减温而降低的焓值 ( $\Delta h$ ) 都属于蒸汽侧的因素。

### 2.1 烟气侧的主要影响因素

#### 2.1.1 燃料量

考虑到炉内和辐射传热变化情况,随着单位时间内所燃烧燃料的不断增多,炉膛出口烟气温度 ( $\theta_{12}''$ ) 也会越来越高,可以通过公式来表示:如果  $B_2 > B_1$ , 则  $\theta_{12}'' > \theta_{11}''$ 。保持材料性质、过量空气系数不变,只有预热空气温度会影响到每千克燃料进入炉内的热量 ( $Q$ ), 如果变动

【作者简介】谢剑文 (1976-), 男, 中国浙江临安人, 本科, 工程师, 从事锅炉运行调整、分析及异常处理研究。

较小,那么影响也会比较小。因此,在燃料加入时,如果保持炉内热量不变,包括绝热燃烧温度、烟气焓也就不会发生变动。这时炉膛出口烟气温度是升高的,烟气流量也增加,将有较多的热量随烟气离开炉膛。这表明每千克燃料在炉内的辐射放热量( $Q_f$ )减少了,与此相反,对流放热量( $Q_d$ )就必然增加,用公式表示,即如果 $B_2 > B_1$ ,则 $Q_{f2} < Q_{f1}$ ,而 $Q_{d2} > Q_{d1}$ ,也就是说,锅炉负荷不断增加后,炉内辐射放热的份额会随之下降,蒸汽的焓增也会不断减少,出口蒸汽温度下降,随着锅炉负荷的不断增加,出口蒸汽温度也会随之增加。一般锅炉都采用辐射—对流组合方式,获得较为平坦的汽温特性,良好的汽温特性可使汽温的调节幅度减小,从而提高机组对负荷变化的适应性。但其总汽温特性仍偏于对流式过热器,所以当负荷增加时,如不加以调节,主蒸汽温度是上升的。

应该指出,燃料增加时,保持绝热燃烧温度不变,而炉膛出口烟气温度是升高的,因此可以说炉内温度有所提高,总辐射传热量也有一定的增幅,但是,热量增加量和燃料增加量并没有形成正比。在辐射式受热面里,每千克燃料里工质所能吸收的热量是在不断减少的。保持绝热燃烧温度不变,随着燃料量的增加,炉膛出口烟气温度也会不断上升,但是辐射传热比较少,对流传热有一定增加<sup>[1]</sup>。

不仅在负荷增加时,并在很多类似情况下,都会出现主蒸汽温度升高的现象。例如,炉内火焰中心的高低将影响主蒸汽温度。用上排或下排喷燃器,主蒸汽温度也会有显著的差别。用上下摆动燃烧器,改变燃烧器倾角的大小能调节主蒸汽温度。总之,燃料量增加后,随着炉膛出口烟气温度的不断升高,即使各种影响因素都有全面考虑,对热传热量仍然有所增加,在以对流吸热为主的过热器,其主蒸汽温度总是上升的。

### 2.1.2 炉膛过量空气系数

炉膛过量空气系数增加时,每千克燃料的辐射传热量会随之减少,但是对流传热量以及所产生的烟气量却会不断增加,导致排烟热损失 $q_2$ 增幅较为明显,而化学和机械不完全燃烧热损失所对应的 $q_3$ 和 $q_4$ 没有过多下降,即 $q_2 + q_3 + q_4$ 增大,使锅炉热效率降低。增加过量空气系数会使绝热燃烧温度降低,同时增加烟气流量,这两种因素对炉膛出口烟气温度的影响是相反的。炉膛相当于一个辐射式换热器,绝热燃烧温度相当于热介质的初温,出口烟气温度就相当于终温。一方面,对任何一个换热器来说,如果热介质的初温降低,而其他条件,如热介质的流量和性质以及冷介质的各种情况都保持不变,则热介质的终温绝不会超过原来的水平,一般总是要降低些<sup>[2]</sup>。另一方面,如果热介质的流量增加,而其他条件不变,则辐射式换热器出口热介质的温度将高于流量增加之前的水平。

### 2.1.3 燃料性质

燃料性质的变化主要是燃煤挥发分、水分、灰分、含碳

量增加及煤粉细度的改变。当挥发分降低,含碳量增加时,煤粉要想燃尽花费的时间也就更长,随着火焰中心的不断上移,炉膛出口烟气温度也会更高,进而主蒸汽温度也会升高。如果燃料中水分以及灰分都增加,会降低煤的发热量,只有不断增加燃煤量,将烟气容积扩大,锅炉蒸发量才能得到保证。同时,水分温度较低,还要吸收汽化潜热,灰分也要吸收热量,使炉内温度水平降低,炉内辐射传热量相对减少。此外,烟气容积增大,烟气流速提高,对流传热加强,从而使主蒸汽温度上升。对于性质不同的燃料,一般选用不同的过量空气系数。如果煤粉变粗,要想在炉内燃尽需要花费更长的时间,随着火焰中心的不断上移,炉膛出口烟气温度也会越来越高,改变辐射放热和对流放热的比例,最终导致主蒸汽温度上升。

### 2.1.4 给水温度

给水温度的变化也将影响主蒸汽温度的变化。给水是从除氧器经高加进入省煤器的,如高加不能投入或故障停用,给水温度比额定值低得多。随着锅炉给水温度的不断下降,只有不断地增加热量,才能将其变为饱和蒸汽,如燃料量不变,蒸发量就要减少,而过热器在燃烧侧的热量不变,所以每千克蒸汽在过热器中所吸收热量必然增加,从而使主蒸汽温度上升。正是由于蒸汽侧扰动,才出现这样的结果。要想负荷。需要能够得到满足,就必须增加燃料量以恢复蒸发量,且比投入高加时所需燃料更多,使烟气流量及烟气流速增加,同时炉膛出口烟气温度上升,结果也会使主蒸汽温度上升。这时对于过热器来说,蒸汽侧的扰动已经消除,只是受到烟气侧的扰动。但是实际上,气温的变化是蒸汽侧和烟气侧两方面影响所引起的<sup>[3]</sup>。对于整台锅炉来说,这时既有蒸汽侧的扰动,又有烟气侧的扰动,所以此时主蒸汽温度的变化比给水温度不变而仅仅增加燃料量时要大得多,从而使主蒸汽温度显著上升,易引起超温,并导致过热器管壁超温。所以,高加故障停用时,一般都降负荷运行。

## 2.2 工质侧的主要影响因素

### 2.2.1 锅炉负荷

由于送入炉内的燃料量取决于锅炉负荷,所以负荷变化对气温的影响归根结底是燃料量对气温的影响。前面也已经有过讨论,气温随燃料量变化的特性指的是其变化前和变化后两个稳定的工况,两个工况在动态转变中,气温的变化情况则与上述情况不尽相同。例如,随着负荷的大幅度增加,燃烧工况没有及时改变,气压也很难恢复,过热器加热条件并没有改变,但所流经的蒸汽流量却在不断增加,因此这时的主蒸汽温度总是降低的。只有经过一段时间后,当燃料量增加达到新的平衡时,气温才逐渐恢复<sup>[4]</sup>。

### 2.2.2 饱和蒸汽湿度

进入过热器的工质为从汽包出来的饱和蒸汽,当定压运行时其饱和蒸汽湿度的变化一般很小,饱和蒸汽温度基本不会变动。但是如果工况不稳定,或者没有常规的运行条件,

如机组负荷突然增加、汽包水位过高等导致汽水共腾时，饱和蒸汽湿度也会越来越高。随着水分的增加，汽化过程中需要吸收大量热量，保持燃烧工况基本不变，用于使干饱和蒸汽过热的热量会有所减少，进而导致主蒸汽温度不断下降。如果饱和蒸汽含水量大，主蒸汽温度降幅将会非常明显。

### 2.2.3 减温水

在减温器中，随着减温水温度以及流量的不断变化，过热器蒸汽侧总吸热量以及主蒸汽温度也会发生改变。如果减温水是给水，随着压力的不断增大，即使保持减温水调节阀开度不变，喷水量也会不断增加，从而使主蒸汽温度下降。此外，当减温器发生泄漏时，也会引起主蒸汽温度下降。

### 2.2.4 主蒸汽压力

主蒸汽压力变化对主蒸汽温度的影响一般是：主蒸汽压力升高时，主蒸汽温度也升高。这是因为，当气压升高时，相应的饱和蒸汽焓值增加，在燃料量未及时改变时，锅炉的蒸发量要瞬时减少（因为部分饱和蒸汽凝结），通过的过热蒸汽数量减少，在传热系数、传热面积、传热温差基本不变的情况下，平均每千克蒸汽的吸热必然增大，最终导致主蒸汽温度升高。主蒸汽压力突然降低时，相应的饱和蒸汽温度降低，即过热器进口蒸汽温度下降；与此同时，锅炉蓄热量将产生附加蒸汽量，使蒸汽流量瞬间增大。两个因素作用的结果使主蒸汽温度下降。

## 3 汽温调节的方法

本厂汽温调节的一般方法是：以烟气侧的调节作为粗调，蒸汽侧通过喷水减温作为细调。过热器系统由包墙过热器、一级对流过热器、二级翼屏式辐射过热器、三级对流过热器组成。由于采用辐射—对流组合方式，获得较为平坦的气温特性，良好的气温特性可使气温的调节幅度减小，这样一来，即使负荷有较大的变化，机组也能很好地适应。

### 3.1 烟气侧的调温方法

通过改变密、稀相区的燃烧份额，从而改变烟气温度、颗粒浓度分布、烟气量，来改变烟气侧对过热器的传热量，但应注意首先要保证燃烧稳定。炉膛密相区的高温物料正常情况下都是不完全燃烧状态，增大一次风量（风压），吹起的物料越高，炉膛中上部燃烧会越来越强，出口处烟温不断升高，主蒸汽温度也随之升高。二次风量的大小根据氧量来调整。太大使主蒸汽温度上升及排烟热损失  $q_2$  增大。太小则不完全燃烧热损失增大。

### 3.2 蒸汽侧的调温方法

根据气温高低关小或开大减温水调节阀。当主蒸汽流量  $> 66\text{t/h}$ ，且主蒸汽温度  $> 512^\circ\text{C}$  时，减温水投入自动。整个主蒸汽温度控制分两级完成。锅炉负荷在  $70\% \sim 100\%$  范围内，过热蒸汽温度能够达到额定值。如果喷水是给水，选用的是钢管式减温器，在额定负荷工况下，一级喷水减温器喷水量为  $4.3\text{t/h}$ ，将一级过热器出口蒸汽温度从  $460^\circ\text{C}$  降至  $443^\circ\text{C}$ ，二级喷水减温器喷水量为  $2.9\text{t/h}$ ，将二级过热器出口蒸汽温度从  $493^\circ\text{C}$  降至  $480^\circ\text{C}$ 。

## 4 结语

科技快速向前发展，在工业化时代，自动控制作用越来越强，在工农业生产以及工程建筑中都有用到。生产自动化可以将成本不断降低，劳动成本也能得到改善，有助于实现文明生产，劳动生产率也会随之提高，这是 21 世纪科技进步的一大显著特征。

### 参考文献

- [1] 周强泰. 锅炉原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 罗万金. 电厂热工过程自动调节[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [3] 章德龙. 锅炉设备及其系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [4] 黄新元. 电站锅炉运行与燃烧调整[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.