

75TCFB 锅炉出力下降原因分析及改造措施

柴建忠¹, 王 军²

(1. 潞安矿业集团五阳热电厂, 山西 长治 046205; 2. 中北大学 机械与动力工程学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 为了解决五阳热电厂 4 台 75 t 循环流化床锅炉出力下降的问题, 对锅炉燃用煤质进行了分析, 发现锅炉燃用煤质挥发份降低、发热量有所增加、煤质灰分降低和密相区的设计流化速度略低。针对这一现象, 电厂对 4 台循环流化床锅炉密相区尺寸进行了计算, 并且与锅炉一二次风进行了对比, 找出锅炉出力下降原因。通过改变循环流化床锅炉一二次风率及锅炉密相区横截面积, 使锅炉密相区燃烧份额降低, 锅炉密相区与稀相区的温差减小。改造结果表明: 通过改造循环流化床密相区结构, 可以提高循环流化床锅炉的出力。

关 键 词: 密相区; 一二次风; 锅炉出力; 流化速度

中图分类号: TK222

文献标识码: B

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.08.019

表 1 锅炉设计参数

Tab. 1 Design parameters of boiler

参数	数值
额定蒸发量/ $t \cdot h^{-1}$	75
额定蒸汽温度/ $^{\circ}C$	450
给水温度/ $^{\circ}C$	150
排烟温度/ $^{\circ}C$	150
热效率/%	85.09
燃料的颗粒度要求/mm	≤ 13
额定蒸汽压力/MPa	5.29

注: 炉膛稀相区断面尺寸为 $3\,170\text{ mm} \times 5\,290\text{ mm}$, 布风板尺寸 $2\,030\text{ mm} \times 4\,230\text{ mm}$ 。锅炉共设计 21 个二次风喷嘴, 分三层布置, 每层 7 个, 距离布风板距离分别为 $1\,050$ 、 $1\,750$ 、 $2\,550\text{ mm}$ 。

1 锅炉概况

潞安矿业集团五阳热电厂 4 台 75 t 循环流化床锅炉由济南锅炉厂制造, 是自然循环水管锅炉, 采用由旋风分离器组成的循环燃烧系统。炉膛为膜式水冷壁结构, 过热器分高低二级过热器, 尾部烟道设省煤器和一、二次风预热器。煤种的适应性好, 运行可靠, 但近几年由于煤种发生变化, 锅炉出力下降。电厂询问了许多专家和厂家, 也做了一些改造措施, 但效果都不明显, 主要原因是没有实质性地改变锅炉密相区的燃烧份额及循环倍率。

经过半年的探索与总结, 我厂对 4 台 75 t 循环流化床锅炉中 4 号锅炉下部及二次风做了改造, 锅炉现在能满足额定蒸发量。

五阳热电厂 4 台 75 t 循环流化床锅炉具体设计参数如表 1 所示。

2 锅炉出力下降原因分析

2.1 炉型分析

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉二次风布置分三层, 每层有 7 个二次风喷嘴, 具体尺寸如图 1、图 2 所示。

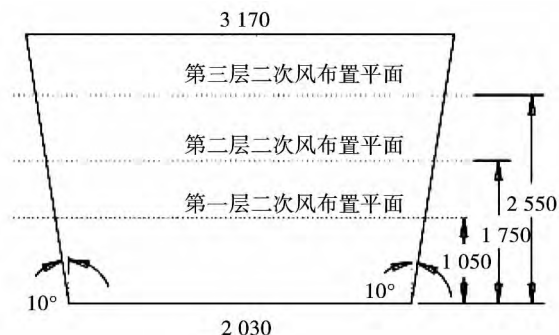


图 1 二次风布置主视图(mm)

Fig. 1 Main view of secondary air arrangement(mm)

收稿日期: 2015-10-30; 修订日期: 2015-12-18

作者简介: 柴建忠(1974-), 男, 山西代县人, 潞安矿业集团五阳热电厂工程师。

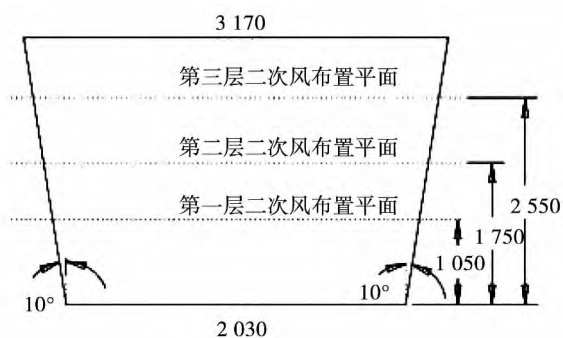


图2 二次风布置侧视图(mm)

Fig. 2 Side view of secondary air arrangement(mm)

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉布风板面积为 S , 具体计算如下:

$$S = 2.03 \times 4.23 = 8.5869 \text{ m}^2 \quad (1)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉下部第一层二次风所在平面面积为 S_1 , 具体计算如下:

$$S_1 = [2.03 + 2 \times 1.05 \times \tan(10^\circ)] \times [4.23 + 2 \times 1.05 \times \tan(9.15^\circ)] = 10.968 \text{ m}^2 \quad (2)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉下部第二层二次风所在平面面积为 S_2 , 具体计算如下:

$$S_2 = [2.03 + 2 \times 1.75 \times \tan(10^\circ)] \times [4.23 + 2 \times 1.75 \times \tan(9.15^\circ)] = 12.7465 \text{ m}^2 \quad (3)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉下部第三层二次风所在平面面积为 S_3 , 具体计算如下:

$$S_3 = [2.03 + 2 \times 2.55 \times \tan(10^\circ)] \times [4.23 + 2 \times 2.55 \times \tan(9.15^\circ)] = 14.8551 \text{ m}^2 \quad (4)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉稀相区横截面积为 S_4 , 具体计算如下:

$$S_4 = 3.17 \times 5.29 = 16.7693 \text{ m}^2 \quad (5)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉稀相区横截面积与布风板及三层二次风所在平面的面积比具体计算如下:

$$\frac{S}{S_4} = \frac{8.5869}{16.7693} = 0.5121 \quad (6)$$

$$\frac{S_1}{S_4} = \frac{10.968}{16.7693} = 0.6541 \quad (7)$$

$$\frac{S_2}{S_4} = \frac{12.7465}{16.7693} = 0.7601 \quad (8)$$

$$\frac{S_3}{S_4} = \frac{14.8551}{16.7693} = 0.8859 \quad (9)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉二次风率比原设计为 6:4, 二次风分三层布置, 每层送入炉膛的二

次风数量相等, 因其, 一次风量、每层二次风量与总风量的比如下:

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{40\%}{60\%} = 0.6 \quad (10)$$

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q} = \frac{60\% + 40\% \times 1/3}{100\%} = 0.7333 \quad (11)$$

$$\frac{Q + 2Q_2}{Q} = \frac{60\% + 40\% \times 2/3}{100\%} = 0.8667 \quad (12)$$

式中: Q_1 —总一次风量; Q_2 —每一层二次风量。

2.2 燃用煤质对比

表2 设计煤种参数

Tab. 2 Parameters of design coal

收到基全水 份 $M_{ar}/\%$	收到基灰 份 $A_{ar}/\%$	干燥无灰基挥 发份 $V_{daf}/\%$	低位发热量 $Q_{net, ar}/\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
12	31.77	20.67	18452

表3 现用煤种参数

Tab. 3 Parameters of existing coal

收到基全水 份 $M_{ar}/\%$	收到基灰 份 $A_{ar}/\%$	干燥无灰基挥 发份 $V_{daf}/\%$	低位发热量 $Q_{net, ar}/\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
11.5	26.57	12.27	22529

2.3 锅炉出力下降原因

五阳热电厂循环流化床锅炉设计煤种为劣质煤, 一二次风风率比原设计为 6:4, 正如式 (7) ~ 式 (12) 计算, 每层二次风所在平面风量比与二次风所在平面与稀相区横截面积比大致相等, 密相区的流化速度略低于稀相区的流化速度。根据表 2、表 3 对比可知, 近几年, 由于锅炉煤质发生变化, 煤种发热量有所增加, 灰分降低, 挥发分降低。

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉循环流化床锅炉带不起负荷的原因分析如下:

(1) 煤质发生变化, 灰分降低, 锅炉的循环灰减少, 循环倍率降低, 密相区燃烧产生的热量流入稀相区的热量减少, 导致锅炉出力下降;

(2) 煤质变化, 发热量有所增加, 挥发份降低, 灰分降低, 以相同的一次风运行, 必然导致密相区的燃烧份额增加, 稀相区的燃烧份额下降, 锅炉出力有所下降;

(3) 炉出口温度低, 密相区与稀相区的温差在 200 °C 左右。

3 提高锅炉负荷的改造措施

3.1 循环流化床锅炉下部的设计理念

在循环流化床锅炉设计中,因为供循环流化床锅炉燃烧的空气(有的为烟气回流的气体)按比例分成一、二次风送入。如果在二次风口以下截面积与上部区域相同,则密相区的流化速度就会降低,特别是在低负荷时会出现床层停止流化的现象,所以二次风口以下总是设计为较小的截面积。

循环流化床锅炉下部设计采用的两种不同的方法:第一种方法是流化床下部区域采用较小的截面积,在二次风口送入位置采用渐扩的锥形扩口,扩口角度小于 45° ;第二种方法是在炉膛布风板上部就呈锥形扩口,这有助于在布风板附近区域提高流化风速,以减少床内分层和大颗粒沉底的可能性^[1~2]。

3.2 不同煤质对循环流化床锅一二次风的影响

在循环流化床锅炉的设计中,首先是根据煤质及燃煤粒度分布来确定循环流化床锅炉的一二次风比,但是每个厂家的设计值都不尽相同,但都遵循相同的原则:对于煤质粒度相同的情况下,挥发分高易燃优质煤,一次风率一般取低值 $40\% \sim 60\%$ 。对于煤质粒度相同的情况下,难燃、低挥发份劣质煤,一次风率取高值^[3~5]。

煤种不一样,燃煤粒径范围和平均粒径不一样。对挥发分高的煤,燃煤粒径范围和平均粒径可以大一些,相反,对挥发分低的煤,燃煤粒径范围和平均粒径可以小一些。降低燃用煤质粒径范围和平均粒径可以提高稀相区的燃烧份额。

3.3 流化床密相区改造分析

3.3.1 流化床下部改造的两种方法

通过减小密相区横截面积,提高密相区密相区的流化速度,降低密相区的氧量,来降低密相区燃烧份额,具体做法有两种设计:

第一种方法:为节约开支,尽量小改动,流化床下部区域采用较小的截面积,在二次风口送入位置采用渐扩的锥形扩口,具体尺寸如图3所示。

第一层二次风横截面积与布风板底部面积相等,具体计算如下:

$$S_1 = 2.03 \times 4.23 = 8.5869 \text{ m}^2 \quad (13)$$

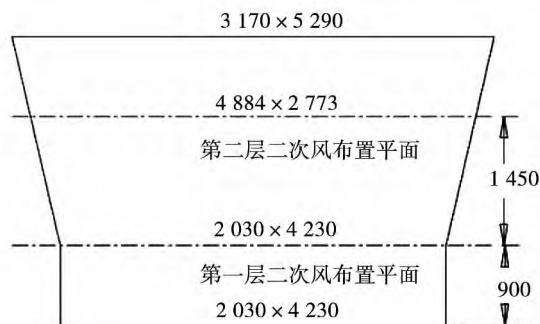


图3 二次风口送入位置采用渐扩的锥形扩口(mm)

Fig 3 Secondary air position using divergent cone flaring(mm)

第二层二次风横截面积,具体计算如下:

$$S_2 = 4.88 \times 2.77 = 13.5176 \text{ m}^2 \quad (14)$$

改造后五阳热电厂75t循环流化床锅炉稀相区横截面积与布风板及两层二次风所在平面的面积比计算如下:

$$B_1 = \frac{8.5869}{16.7693} = 0.5121 \quad (15)$$

$$B_2 = \frac{13.5176}{16.7693} = 0.8061 \quad (16)$$

锅炉以5:5配风,第一层二次风风量为 Q_1 ,第二层二次风风量为 Q_1 ,一次风量为 $2Q_1$ 。

五阳热电厂75t循环流化床锅风量比如下:

$$C_1 = \frac{2Q_1}{4Q_1} = 0.5 \quad (17)$$

$$C_2 = \frac{3Q_1}{4Q_1} = 0.75 \quad (18)$$

$$C_3 = \frac{4Q_1}{4Q_1} = 1 \quad (19)$$

根据计算,密相区的流化速度与稀相区的流化速度大致相等,第二层二次风所在平面流化速度微低于稀相区流化速度,在运行时,适当加大一次风可以满足密相区的流化速度,同时降低供入密相区的氧气。

第二种方法:对流化床下部进行重新设计,减小布风板面积,具体尺寸如图4所示。

五阳热电厂75t循环流化床锅炉改造后,布风板面积 S ,计算如下:

$$S = 1.9 \times 3.7 = 7.03 \text{ m}^2 \quad (20)$$

假如锅炉以 5:5 配风, 经计算布风板面积收缩太多, 可能导致流化床流化恶化, 因此, 在保证流化良好的情况下尽可能增大布风板面积。

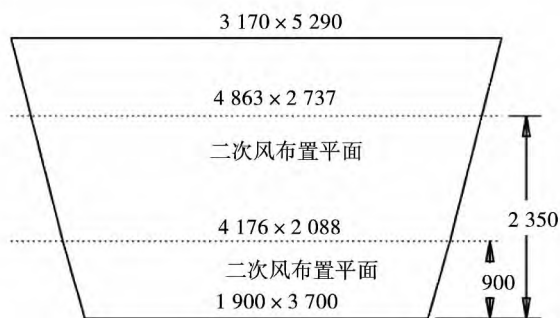


图 4 减小布风板面积图 (mm)

Fig 4 Chart of reducing ventilation board area (mm)

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉改造后, 第一层二次风横截面积为 S_1 , 具体计算如下:

$$S_1 = 4.18 \times 2.09 = 8.7362 \text{ m}^2 \quad (21)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉改造后, 第二层二次风横截面积为 S_2 , 具体计算如下:

$$S_2 = 4.86 \times 2.74 = 13.3164 \text{ m}^2 \quad (22)$$

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉稀相区横截面积与布风板及两层二次风所在平面的面积比计算如下:

$$B_1 = \frac{8.7362}{16.7693} = 0.5210 \quad (23)$$

$$B_2 = \frac{13.3164}{16.7693} = 0.7941 \quad (24)$$

锅炉以 5:5 配风, 第一层二次风风量为 Q_1 , 第二层二次风风量为 Q_2 , 一次风量为 $2Q_2$ 。

五阳热电厂 75 t 循环流化床锅炉风量比如下:

$$C_1 = \frac{2Q_1}{4Q_1} = 0.5 \quad (25)$$

$$C_2 = \frac{3Q_1}{4Q_1} = 0.75 \quad (26)$$

$$C_3 = \frac{4Q_1}{4Q_1} = 1 \quad (27)$$

根据计算, 密相区的流化速度与稀相区的流化速度大致相等, 第二层二次风所在平面流化速度微低于稀相区流化速度。

3.3.2 流化床椎体改造比较

第一种设计的特点是: 不需要改变布风板的大

小, 因而不需要对布风板、风帽数和开孔率等进行重新设计, 设计简单, 缺点是: 可能出现流化床分层及大颗粒沉底的现象, 导致流化床流化不良, 燃烧恶化。但是, 五阳热电厂现在煤质大颗粒相对较少, 所以选择第一种改造方案, 改造后未出现流化不良现象。

第二种设计的特点是: 需要对布风板、风帽数和开孔率等进行重新设计, 工作量繁重, 但是, 在炉膛布风板上部就呈锥形扩口有助于在布风板附近区域提高流化风速, 以减少床内分层和大颗粒沉底的可能性。

3.3.3 按第一种设计改造结果对比

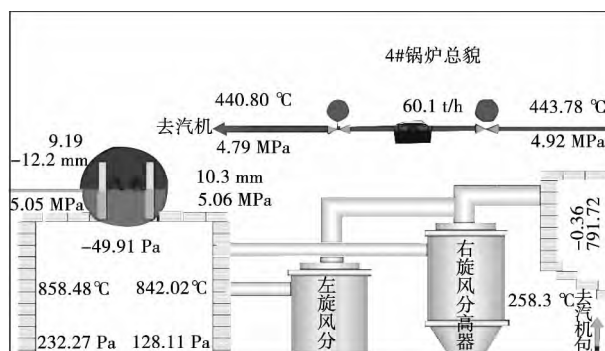


图 5 改造前 4#炉出力及有关参数

Fig 5 #4 boiler output and related parameters before transformation

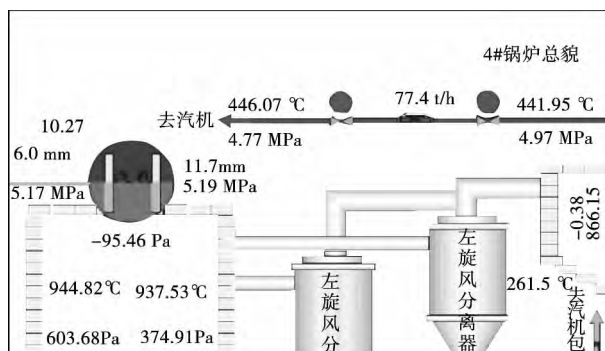


图 6 改造后 4#炉出力及有关参数

Fig 6 #4 boiler output and related parameters after transformation

4 结 论

根据 3.3.3 的对比, 可以得到以下结论:

(1) 五阳热电厂煤质挥发分降低、灰分降低和

发热量升高时,通过缩小密相区横截面积,减小一次风率,提高密相区的流化速度,缩小稀相区与密相区的温差,提高炉出口温度,增强传热,可以提高循环流化床锅炉的出力;

(2) 返料温度的提高也表征了循环流化床锅炉循环灰量的增加,稀相区传热增强,锅炉出力增加;

(3) 五阳热电厂根据第一种方案改造以后,在一二风大致相等的情况下,炉出口温度及炉膛差压都有相应的提高,锅炉负荷提高了大约 15 t/h 左右,炉膛差压的提高证明锅炉循环倍率的提高,锅炉出力增强;

(4) 密相区与稀相区的温差也降到了 100℃左右。

参考文献:

[1] 求是圆. 循环流化床锅炉理论设计与运行[M]. 北京高等教育

出版社,1995:475.

QIU Shi-yuan. Circulating fluidized bed boiler design and operation[M]. Beijing higher education press,1995:475.

[2] 刘德昌,陈汉平,张世红,赫俏,等. 循环流化床锅炉运行及事故处理[M]. 北京高等教育出版社,2005:119-120.

LIU De-chang, CHEN Han-ping, ZHANG Shi-hong, et al. CFB boiler operation and accident treatment[M]. Beijing Higher Education Press,2005:119-120.

[3] 韩振波. 燃料特性对循环流化床锅炉设计的影响[J]. 工业锅炉,2005(03):15-17.

HAN Zhen-bo. The effects of fuel characteristics on CFB boiler design[J]. Industrial Boiler,2005(03):15-17.

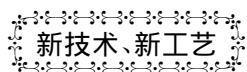
[4] 李斌. 中小型循环流化床锅炉二次风的布置[J]. 工业锅炉,2009(04):14-16.

LI Bin. The Arrangement of secondary air in small and middle size CFB boiler[J]. Industrial boiler,2009(04):15-17.

[5] 罗红星. 二次风在小型循环流化床锅炉上的合理应用[J]. 工业锅炉,2009(05):61-62.

LUO Hong-xing. The application of secondary air in small size CFB boiler[J]. Industrial Boiler,2009(05):61-62.

(姜雪梅 编辑)



2015 联合循环装置的价格

《Gas Turbine World》2014~2015 年年度手册发布了联合循环装置的商业价格。

GTW 发布的联合循环装置的价格是根据以天然气为燃料的运行标准而设计的简易联合循环装置的价格,并且在没有 HRSG(余热锅炉)管道补燃的情况下具有保守的蒸汽循环:

这些价格指的是对于 EPC(工程总承包)范围,包括主要设备供应、装置的工程和建设,以美元支付的 FOB(主岸价格)。它们不包括运输、项目特定的选项、物主项目的费用或项目的意外费用。

设备范围

被限于围绕 1 台或更多台燃气轮发电机组、1 台或更多台匹配的余热锅炉没有用于排放减少的 SCR(选择催化还原)或 CO 催化剂、具有冷水冷凝器和机械通风冷却塔的单汽轮机发电机组、集成了装置控制系统设计的最低限度。

在供应范围内主要设备包括:

• 燃气轮机

具有用于室外安装的隔音罩壳并具有标准的启动和控制系统的撬装单燃料机组。包括通常随同简单循环燃气轮机成套设备(没有进口空气激冷或加热)一起供应的机械的和电气的辅助系统。

• 汽轮机

凝汽式亚临界设计,对于小功率装具有单压级或双压级,对于大功率装置具有再热的三压级。轴向或径向排汽口,蒸汽旁路的控制装置,罩壳和水冷冷凝器。包括节流阀和控制装置(典型地液压控制)。

• 不补燃的余热锅炉

在户外的余热锅炉装置以及管道系统和短烟囱。如同由燃气轮机和汽轮机尺寸和技术限定那样的双压和三压再热装置。

• 发电机

用于小功率燃气轮机的空气冷却发电机;用于较大机组的氢气冷却发电机。

• 装置的配套设备

用于联合循环装置建造和运行的标准的装置配套设备:包括机械和电气的辅助系统、工程和建造等。

表列了联合循环装置的价格,包括燃气轮机的数量和型号、装置净输出功率、热耗率、效率、汽轮机、预算的装置价格、每 kW(净)装机容量的价格。

(吉桂明 摘译,徐立民 提供)

of this technology in a 1 000 MW Unit. The results showed that the new technology has the wide adaptability ,well adjustment ability ,high efficiency and strong operability. The new technology has significant economic benefits in a 1 000 MW Unit; the exhaust gas temperature reduces from 130 °C to 85 °C ,the consumption of standard coal decreases by up to 2.58 g/(kW · h) ,that is 6.953 million Yuan revenues per year and 443 100 tons water is saved in a year. Furthermore ,this technology has significant environmental benefits and the payback period of investment is about 5.61 years. **Key words:** fluorine plastic heat exchanger ,deeply flue gas heat recovery ,economic performance ,the consumption of standard coal ,revenues

75TCFB 锅炉出力下降原因分析及改造措施 = Root Cause of the Reduced Output Capacity of 75T CFB Boiler and its Countermeasures [刊 ,汉] CHAI Jian-zhong (Lu' an Mining Group ,Wu Yang Thermal Power Plant ,Changzhi ,China ,Post Code: 046205) ,WANG Jun (The North University of china ,Taiyuan ,China ,Post Code: 030051) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(8) . -110 ~ 114

To identify the root cause of the reduced output capacity of 4 sets of 75tCFB boilers in WU Yang power plant ,the burning coal quality was analyzed and it was found that the volatile fraction of coal decreases ,calorific value increases and the coal ash lowers and the fluidization velocity of dense zone slightly declines. To determine the countermeasures ,the dense-phase zone size of 4 sets of 75t CFB boilers was calculated and the primary air and secondary air were compared. It was found that the boilers encounter difficulty in load carrying capacity. By changing the primary air rate and secondary air rate of CFB boilers and the cross-sectional area of dense zone ,the combustion fraction of the boiler' s dense-phase zone was reduced and the temperature difference between the dense zone and the dilute-phase zone decreased. These results indicate that the CFB boiler' s output capacity can be improved by reforming the structure of the CFB' s dense-phase zone. **Key words:** dense-phase zone ,primary air and secondary air , output capacity ,fluidization velocity

超临界锅炉奥氏体钢管氧化层研究与预防 = Investigation and Prevention of Supercritical Boiler Austenitic Steel Pipe Oxide Layer [刊 ,汉] SONG Quan-xuan (The Boiler & Pressure Vessel Safety Inspection Institute of Henan Province ,Zhengzhou ,Henan ,China ,Post Code: 450016) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31(8) . -115 ~ 119

SA-213TP347H (Cr19Ni11Nb) steel tube with excellent high temperature lasting and high temperature antioxidation is widely used in high temperature superheater and reheater as the power boiler is marching to the ultra supercritical parameters. As the operation time increases ,the abnormal shutoff of the power boiler happens more and more frequently due to oxidation skin peeling and accumulating. In this article ,the causes of the TP347H oxidation skin formation ,growth ,peeling and accumulation in ultra-supercritical power generation boiler were investigated by the long-term sampling of TP347H steel pipe inner surface oxide skin and sample analysis. And a countermeasure of preventing and delaying the growth of spalling was put forward. **Key words:** supercritical boiler ,austenitic steel , scale ,spalling damage