

# Experimental Study on Water Circulation System of the Power Station Boiler

Rui Zhang<sup>1</sup>, Xue Zhang<sup>2</sup>, Chuanzhong Xu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electric Power Research Institute of Jilin Province Limited Company, Changchun, China, 130021;

<sup>2</sup>College of Automation Engineering, Northeast Dianli University, Jilin, China, 132012

Email: <sup>1</sup>arui766@sina.com, <sup>2</sup>zhang5099815@yahoo.com.cn

**Abstract:** In order to check on the reasons of water wall burst in 300MW power station boiler. We made the water circulation test. The circulating water velocity and water wall temperature were tested, then we analysed the data of test. The analysis shows that the main reasons of the water wall burst are the low flow velocity, incorrect operation by operator, and the bad heat transmission in water wall tube. Therefore, we suggest to keep using the measuring method of the water wall temperature, so that the wall temperature can be online monitoring.

**Keywords:** Power station boiler; Water circulation test; Circulation flow velocity; Water wall temperature

## 电站锅炉水循环系统试验研究

张锐<sup>1</sup>, 张雪<sup>2</sup>, 许传中<sup>2</sup>

<sup>1</sup>吉林省电力科学研究院有限公司, 长春, 中国, 130021

<sup>2</sup>东北电力大学 自动化工程学院, 吉林, 中国, 132012

Email: <sup>1</sup>arui766@sina.com, <sup>2</sup>zhang5099815@yahoo.com.cn

**摘要:** 为了查明 300MW 机组电站锅炉水冷壁爆管原因, 我们进行了水循环试验。试验测试了水循环流速和水冷壁壁温, 并对试验结果进行了分析。分析表明: 水循环流速过低, 运行操作不当, 管内传热恶化, 是产生超温爆管的主要原因。建议沿用试验中壁温测点, 对水冷壁温度进行在线监测。

**关键词:** 电站锅炉; 水循环试验; 循环流速; 水冷壁壁温

### 1 引言

随着锅炉向超高参数、大容量的发展, 锅炉锅内过程的工作条件日益恶化, 发生故障所造成的停电损失也越来越大, 研究锅内过程已经成为发展现代高参数大容量锅炉的关键问题。

吉林省某电厂 2009 年发生了较为严重的锅炉水冷壁爆管事故, 为了降低水冷壁爆管和泄漏等故障的发生频率, 减少经济损失, 保障锅炉水循环系统稳定运行, 对该锅炉进行了水循环试验。本文介绍了锅炉水循环试验内容及试验方法<sup>[1]</sup>, 分析水循环流速和水冷壁壁温的测量数据, 找出水冷壁爆管原因, 并提出改善方法和建议, 使现场水循环系统达到安全要求。

### 2 试验设备概况

该厂 1 号锅炉为上海锅炉厂有限公司制造的 SG-1025/17.5-M889 型亚临界、自然循环、中间再热、

单锅筒、单炉膛、平衡通风、四角切圆燃烧、固态排渣燃煤锅炉。锅炉主要设计参数见表 1。

Table 1. The main design parameters of boiler

表 1 锅炉主要设计参数

序号	项目	数据	单位
1	最大连续出力	1025	t/h
2	过热蒸汽温度	541	°C
3	过热蒸汽压力	17.5	MPa
4	再热蒸汽进口压力	3.76	MPa
5	再热蒸汽进口温度	326	°C
6	再热蒸汽出口压力	3.58	MPa
7	再热蒸汽出口温度	541	°C
8	再热蒸汽流量	839.6	t/h
9	给水温度	280	°C

锅炉的汽水循环系统包括锅筒，大直径下降管，水冷壁管，引入和引出管。水冷壁由炉膛四周及水平烟道底部组成。来自省煤器的未饱和水沿着给水分配管注入大直径下降管。在下降管的下端设有分配器，与水冷壁引入管相连接，引入管把欠焓水送入水冷壁的四周下集箱。汽水混合物经汽水引出管引入锅筒，在锅筒内进行良好的分离，分离后的水再次进入下降管，干蒸汽则被连接管引入炉顶过热器进口集箱。

### 3 水循环试验内容和测点布置

#### 3.1 试验内容

根据本次试验的目的，试验主要内容如下：

测试 300MW、260MW、250MW、240MW、230MW、210MW、190MW、180MW 电负荷下水循环流速；测试 300MW、260MW、244MW、215.9MW、195MW、184.5MW 六种电负荷下的水冷壁壁温。

#### 3.2 测点布置

将 1 号炉膛水冷壁按受热情况和几何形状划分成 32 个循环回路：前后水冷壁各有 6 个回路，两侧水冷壁各有 6 个回路，四角各有 2 个回路，即共 32 个回路。

#### 4.1 上升管循环流速

Table 2. Flow velocity data of ascending tube

表 2. 上升管流速数据

名称	单位	工况一 300MW	工况二 260MW	工况三 250MW	工况四 240MW	工况五 230MW	工况六 210MW	工况七 190MW	工况八 180MW
汽包压力	MPa	17.54	16.10	14.57	15.22	13.32	15.82	15.50	15.39
测点平均值	m/s	1.86	2.06	2.14	1.93	2.16	1.60	1.48	1.29

试验工况是按照电厂实际运行工况进行的，工况五为滑压运行，其他工况为定压运行。由表 2 知，100% 电负荷时水循环流速略低于 260MW、250MW、240MW、230MW，但水循环流速正常；210MW、190MW、180MW 时的水循环流速略高于可靠性较差的循环流速界限值，冷却水冷壁管的工质流量不充足，

本次试验的测点布置着重于循环不良、可靠性差的回路和管子。共选 12 个回路，在此四角 12 个回路均布置有测速管。在每个水冷壁管的入口处安装测速管测量水冷壁管的流速。另外，又选择在供水管上设有 2 个测点，2 根测速管，1 个静压测点。测量下降管压差  $\Delta P_{xj}$ 、水冷壁管压差  $\Delta P_{sb}$ 、汽水引出管压差  $\Delta P_{yc}$  时，汽包上的取压点由主控室汽包取压点得到，下联箱上的取压点开在供水管上，上联箱上的取压点通过计算获得<sup>[1]</sup>。

#### 4 试验结果与分析

所有的水冷壁管子都得到充分冷却是保证自然循环锅炉可靠运行的关键。检查自然循环锅炉水循环可靠性时，常检查所有使水冷壁管不能被正常冷却的条件是否发生，若这些条件都不发生，则说明水循环是正常的或安全的。其中一个最重要的条件是水循环流速不能过低，水循环不能发生停滞和倒流<sup>[2]</sup>。如果水循环流速过低，循环发生停滞和倒流，则说明水循环是非正常的或不安全的，所以本次水循环试验测量了以下参数。

容易引起超温爆管，因此该工况不易长期运行<sup>[2]</sup>。建议适当减小上升管的管径来增加循环流速。滑压运行时汽包压力为 13.32MPa，相较于其它压力较高的工况，水循环流速略好，水循环工况良好。建议锅炉在调峰的过程中采用滑压运行的方式。

#### 4.2 下降管循环流速

Table 3. Flow velocity data of descending tube

表 3. 下降管流速数据

名称	单位	工况一 300MW	工况二 260MW	工况三 250MW	工况四 240MW	工况五 230MW	工况六 210MW	工况七 190MW	工况八 180MW
静压	MPa	17.01	16.2	16.82	15.6	13.57	16.14	15.779	15.463
流速	m/s	0.965	0.89	0.92	0.83	0.93	0.73	0.66	0.56
流量	t/h	6520.79	6079.69	6359.59	5670.71	6410.87	5135.63	4681.82	3984.81
蒸发量	t/h	934.03	816.87	810.43	739.21	748.83	670.11	614.77	579
循环倍率	%	6.98	7.44	7.85	7.67	8.56	7.66	7.61	6.88

分析表 3 知，滑压运行（工况五）时，循环倍率略高于其它工况点，100%电负荷定压运行时循环倍率略低工况二至工况七，接近 60%低负荷循环倍率最低。滑压运行时的循环流速高于常压运行时的流速，主要是由于滑压运行的压力比定压运行的压力低，压力越低，汽水之间的密度差越大，循环推动力越大，循环流速越大，因而其循环倍率最高<sup>[3]</sup>。建议增大下降管和汽水引出管的管径和管数，或者在其进口处安装节流圈，从而保证有足够的流量冷却水冷壁管，不会引起管壁超温。

### 4.3 壁温测试

本次试验增加了锅炉热负荷较高区域水冷壁温度的测量，用以监视水冷壁是否出现膜态沸腾的不安全状态<sup>[2]</sup>。

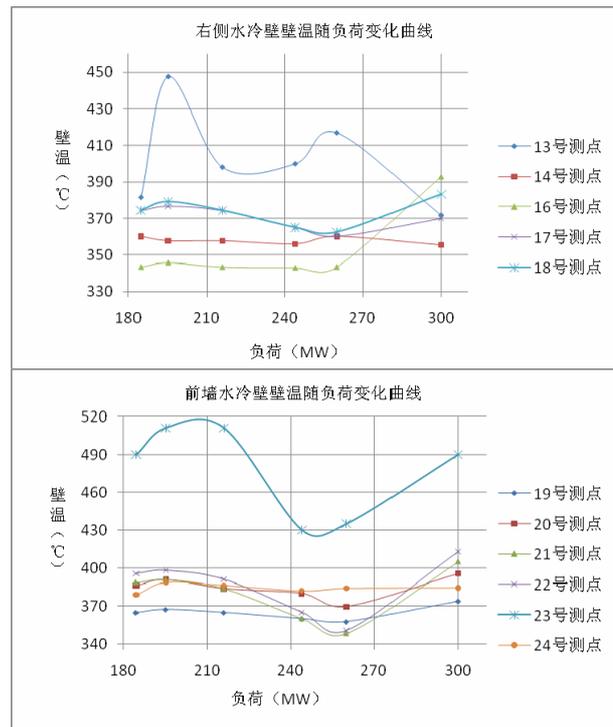
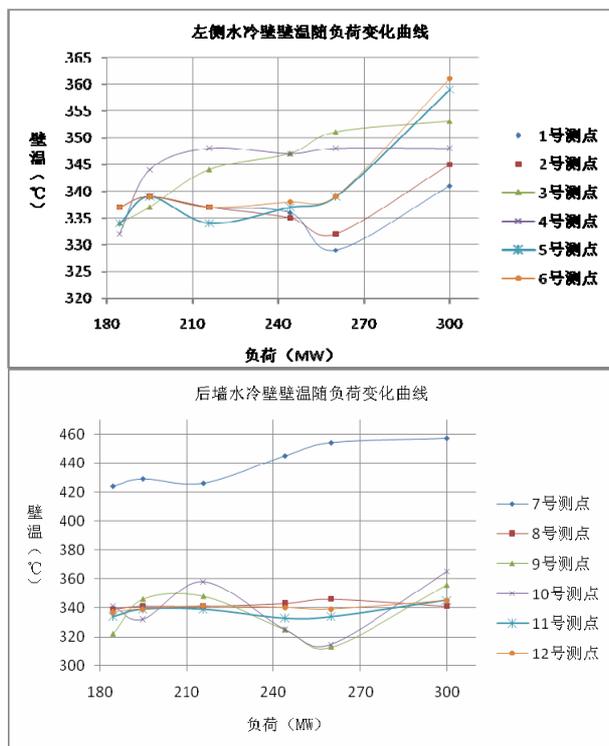


Figure 2. Curve: change of Water wall temperature following load

图 2. 水冷壁壁温随负荷变化曲线

由水冷壁壁温随负荷变化曲线图（如图 2）可知，左墙测点总体壁温在 400℃ 以内，没有太大的超温现象。后墙测点温度分布在 2-3 号角之间，其中 7 号测点变化均在 400℃ 以上，其它测点无太大的超温现象。右墙测点温度分布在 3-4 号角之间，其中 13 号测点温度最高，尤其在负荷 200MW 左右，已接近 450℃ 高温，其它测点无太大的超温现象。前墙测点温度分布在 4-1 号角之间，其中 23 号测点温度最高，尤其在负荷 200MW 左右，已接近 520℃ 高温，其它测点无太大的超温现象。为了保证锅炉安全运行，要对超温的水冷壁管子（例如：7、13、23 号测点等）进行在线监测<sup>[3]</sup>。

试验结果还表明，当汽机降压加负荷时，即当汽机加负荷瞬间开大调速汽门时，水冷壁壁温会发生突

变。如果随着压力降低，热负荷增加过快，有可能出现膜态沸腾。因此锅炉运行操作时，注意尽量保持压力不变，控制汽机加负荷速率。

## 5 结束语

通过对 300MW 自然循环锅炉水循环系统的试验研究，查明了锅炉水循环不良的原因和水冷壁爆管的影响因素，并提出了解决方法。在此基础上得到以下结论：

(1) 水循环试验实现了对锅炉内部参数的必要的监测，可以减少因热偏差而引起的爆管停产事故，保证锅炉安全、稳定、高效率运行。

(2) 在 60%以上电负荷水循环是可靠的，有足够的流量冷却水冷壁管，不致于引起管壁超温。

(3) 水冷壁爆管原因主要是水循环流速过低，运行操作不当，水冷壁结渣和局部超温，因此有必要监测水冷壁的壁温，建议沿用试验中的壁温监测测点。

(4) 汽包压力越低循环流速越大，但过低会影响过热部分金属壁温，因为压力低时金属对蒸汽的放热系数会减小，管壁容易超温。压力降低时水速的增加滞后于温的增加，建议该炉在操作时，降压速率相对

运行规程所规定的速率要保守些。

## 致 谢

衷心感谢所有在试验过程中给予我们支持和帮助的人，同时感谢在论文的写作过程中提供建议和帮助的朋友们。没有你们的支持和帮助，我们不可能在短时间内顺利完成这些任务，再次表示感谢。

## References(参考文献)

- [1] Xu Yanying, Dong Peng, Lan Rihua. Principle of Calculations for Hydrodynamic-loop Analysis Method Used for Natural Circulation Hot Water Boilers[J]. Thermal Energy and Power Engineering, 2006, 21 (5) ,P473-475  
徐艳英, 董鹏, 兰日华. 自然循环热水锅炉水动力回路分析法的计算原理[J]. 热能动力工程, 2006, 21 (5) ,P473-475.
- [2] D.R.H. Jones. Creep Failures of Overheated Boiler, Superheater and Reformer Tubes[J]. Engineering Failure Analysis. 2004(11), P873-893.
- [3] Zhou Yunlong, Zhao Peng, Sun Bin, Hong Wenpeng, Zhang Ling. The Mathematical Model of On-line Monitoring for Boiler Water Circulation Safety Reliability[J]. Boiler Technology, 2004, 35(4),P1-7.  
周云龙, 赵鹏, 孙斌, 洪文鹏, 张玲. 锅炉水循环安全可靠在线监测的数学模型[J]. 锅炉技术, 2004, 35(4),P1-7.