

超超临界锅炉高温受热面壁温测点优化方案

王力强，祁永峰，初 光

(江苏大唐国际吕四港发电有限责任公司，江苏省启东市吕四港镇，224624)

**摘 要：**本文针对超超临界锅炉受热面根据锅炉运行高温受热面实际温度变化规律，制定、优化受热面增加壁温测点方案。

**关键词：**超超临界锅炉；受热面；壁温测点；优化

0 引言

吕四港发电公司#1-#4 机组是哈锅生产的 660MW 超超临界机组，由于锅炉厂设计壁温测点少，无法反映受热面管最高管壁温度，造成后屏过热器、末级过热器接连发生多起超温爆管事件。下面就受热面壁温测点优化过程中，积累的一些经验和教训，仅供大家研究参考。

1 设备概况

锅 炉 为 哈 尔 滨 锅 炉 厂 生 产 的 HG-2000/26.15-YM3 超超临界压力直流锅炉，采用 Π 型布置、单炉膛、改进型低 NOX PM (Pollution Minimum)主燃烧器和 MACT(Mitsubishi Advanced

Combustion Technology) 型低 NOx 分级送风燃烧系统、墙式切圆燃烧方式，炉膛采用内螺纹管垂直上升膜式水冷壁、带再循环泵的启动系统、一次中间再热。锅炉采用平衡通风、紧身封闭布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构。

锅炉的汽水流程从水冷壁入口集箱到汽水分离器为水冷壁系统，从分离器出口到过热器出口集箱为过热器系统，另有省煤器系统、再热器系统和启动系统。

1.1 锅炉主要运行参数

锅炉主要运行参数见表 1。

表 1 锅炉主要运行参数

| 名称         | 单位       | BMCR     | BRL      | 高加全切      | 75% BMCR  | 50% BMCR  | 30% BMCR  |
|------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 主蒸汽流量      | t/h      | 1910     | 1820     | 1460      | 1431      | 954       | 572       |
| 主蒸汽温度      | ℃        | 571      | 571      | 571       | 571       | 571       | 525       |
| 主蒸汽压力      | MPa(g)   | 25.4     | 25.30    | 25        | 25        | 19.7      | 11.8      |
| 再热器进口压力/温度 | MPa(g)/℃ | 4.54/317 | 4.33/305 | 4.222/313 | 3.477/293 | 2.353/289 | 1.358/263 |
| 再热器出口压力/温度 | MPa(g)/℃ | 4.33/569 | 4.13/569 | 4.025/569 | 3.314/569 | 2.241/569 | 1.290/513 |
| 再热蒸汽流量     | t/h      | 1614     | 1542     | 1439      | 1228      | 836       | 511       |
| 给水温度       | ℃        | 282      | 280      | 190       | 265       | 242       | 214       |

1.2 原设计受热面壁温测点

- (1)后屏过热器(35 屏×19 根管):共 5 点(2-1, 8-1, 15-1, 21-1, 28-1, 34-1)。
- (2)末级过热器(56 屏×15 根管):共 5 点(2-1, 13-1, 23-1, 34-1, 44-1)。
- (3)末级再热器(70 屏×11 根管):共 5 点(2-1, 15-1, 29-1, 42-1, 56-1)。
- (4) 水冷壁系统壁(432 根/墙×4) 温测点共 154 点。左右前墙水冷壁出口壁温测点:共 60 个(11、

- 32、53、74、96、118、140、162、184、206、227、249、271、293、315、337、359、380、401、422);
- 后墙水冷壁壁温测点:共 10 点(5、12、19、26、33、40、47、54、61、68);
- 中间水冷壁入口壁温测点:共 68 点(4、22、50、78、106、134、162、190、224、247、275、303、324、347、409、429) ×4;
- 水平烟道两侧墙(89×2) 壁温测点:共 16 点(1、14、27、39、51、63、76、89) ×2。

## 2 第一次增加测点方案

### 2.1 目的

(1)对锅炉整体的实际运行状况做全面的分析判断,并从理论上进行热力校核计算,找出过热器同屏各个管圈的蒸汽流量偏差,有针对性的制定改进方案。为此高温受热面(后屏、末级过热器、末级再热器)选定有代表性的2屏整屏加装壁温测点,测出实际的管壁温度值作为水力计算的依据。

(2)高温受热面(后屏、末级过热器、末级再热器)炉膛宽度方向每屏的同一根管增加壁温测点,找出烟温及管壁温度偏差规律,为运行人员燃烧调整提供依据。

### 2.2 增加壁温测点方案(共538点)

#### 2.2.1 后屏过热器管屏出口管壁温测点

(1)整屏(9屏、27屏)加装38个测点。

(2)炉膛宽度方向增加壁温测点:每屏的第11根管(9屏、27屏第11根除外),共33点。

#### 2.2.2 末级过热器管屏出口管壁温测点

(1)整屏增加测点:左数第28屏和第44屏,共24点。

(2)炉膛宽度方向:双数屏(2、4、6、8.....54、56)第7根管(28屏、44片、47、49第7根除外),共24点。

#### 2.2.3 末级再热器增加壁温测点

(1)整屏增加测点:左数18屏、52屏共22点。

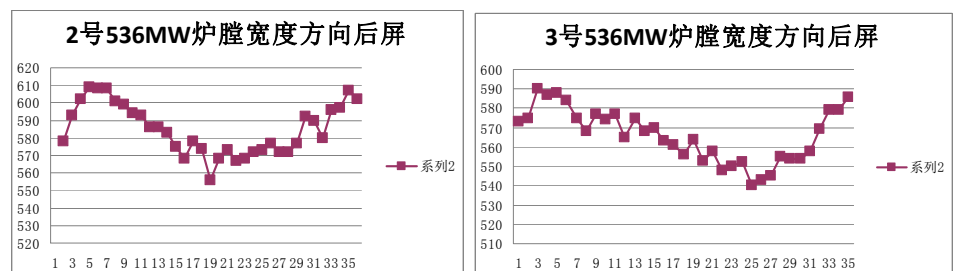
(2)炉膛宽度方向:双数屏(2、4、6、8.....70)第6根管(18屏、52片第6根除外),共33点。

#### 2.2.4 水冷壁增加壁温测点

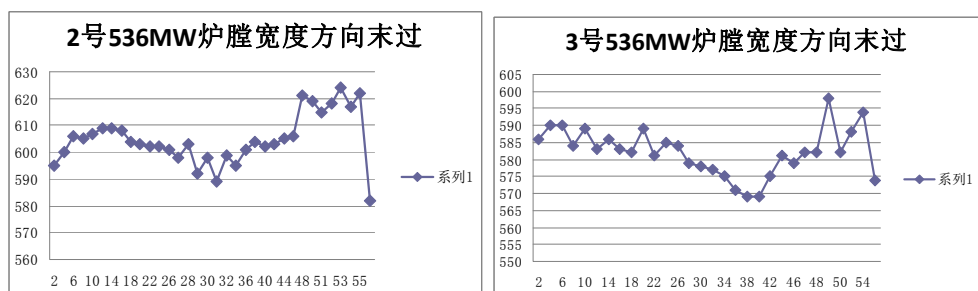
前、后、左、右墙水冷壁中间集箱入口处各增加91点,共364点。

### 2.3 增加测定后壁温分析

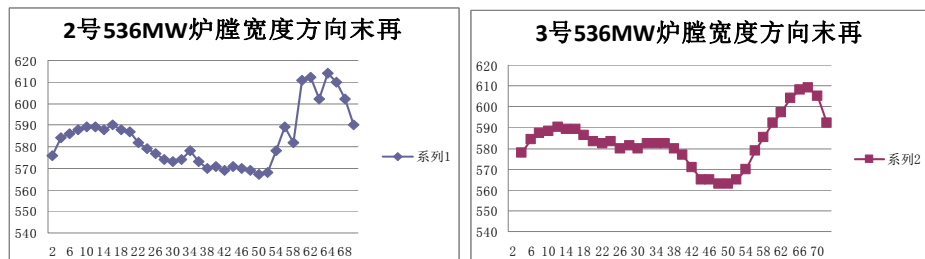
(1)机组负荷536MW工况下,对2、3号锅炉高温受热面炉膛宽度方向管壁温度分布对比,见图1。



(a) 炉膛宽度方向后屏温度分布



(b) 炉膛宽度方向末过温度分布



(a) 炉膛宽度方向末再温度分布

图1 536MW工况下2、3号锅炉高温受热面炉膛宽度方向管壁温度分布对比

对比分析：后屏过热器最高温度管屏主要分布在左右两侧：4、5、6、33、34、35 号管；末级过热器最高温度管屏主要分布在右侧 48、52、53、55 号管（左侧 10 号管偏高）；末级再热器最高温度管

屏主要分布在右侧 12、14、62、64、66、68 号管。  
(2) 机组负荷 660MW 工况，对 2、3 号锅炉高温受热面炉膛宽度方向管壁温度分布对比，见图 2。

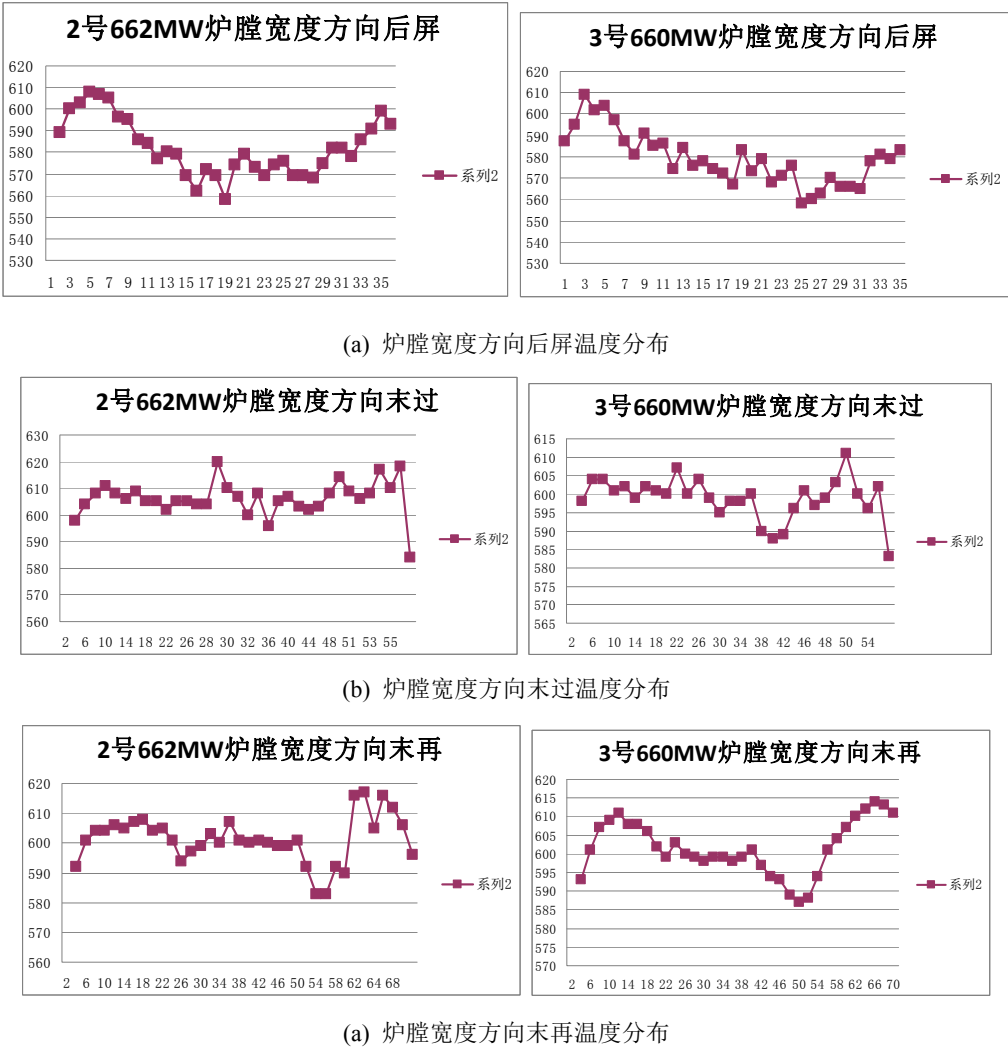


图 2 662MW 工况下 2、3 号锅炉高温受热面炉膛宽度方向管壁温度分布对比

对比分析：后屏过热器最高温度管屏主要分布在左右两侧：4、5、6、33、34、35 号管；末级过热器最高温度管屏主要分布在右侧 48、52、53、55 号管（左侧 10 号管偏高）；末级再热器最高温度管屏主要分布在右侧 12、14、62、64、66、68 号管。

通过炉膛宽度方向高温受热面壁温分布对比说明：

1) 以上两个负荷段，高温受热器管壁温度分布趋势基本一致，后屏过热器左侧在第 5 排管屏，右侧在第 34 排管屏；末级过热器左侧在第 10 排管屏，

右侧在第 54 排管屏；末级再热器左侧在第 12 排管屏，右侧在第 64 排管屏。

2) 炉膛宽度方向后屏、末过、末再第 1 根（原厂设计壁温测点）管壁温度不是最高温度的管，对受热面管壁温度监视没有参考性。

(3) 整屏管排壁温对比（2、3 号机组 660MW 负荷），见图 3。

通过整屏管壁温分布对比说明：

1) 高温受热器管壁温度分布趋势基本一致，后屏过热器高温点在第 6、14 根管；末级过热器高温

点在第6根管；末级再热器在第5、8根管。

2) 后屏、末过、末再第1根(原厂设计壁温测

点)管壁温度不是最高温度的管,对受热面管壁温度监视没有参考性。

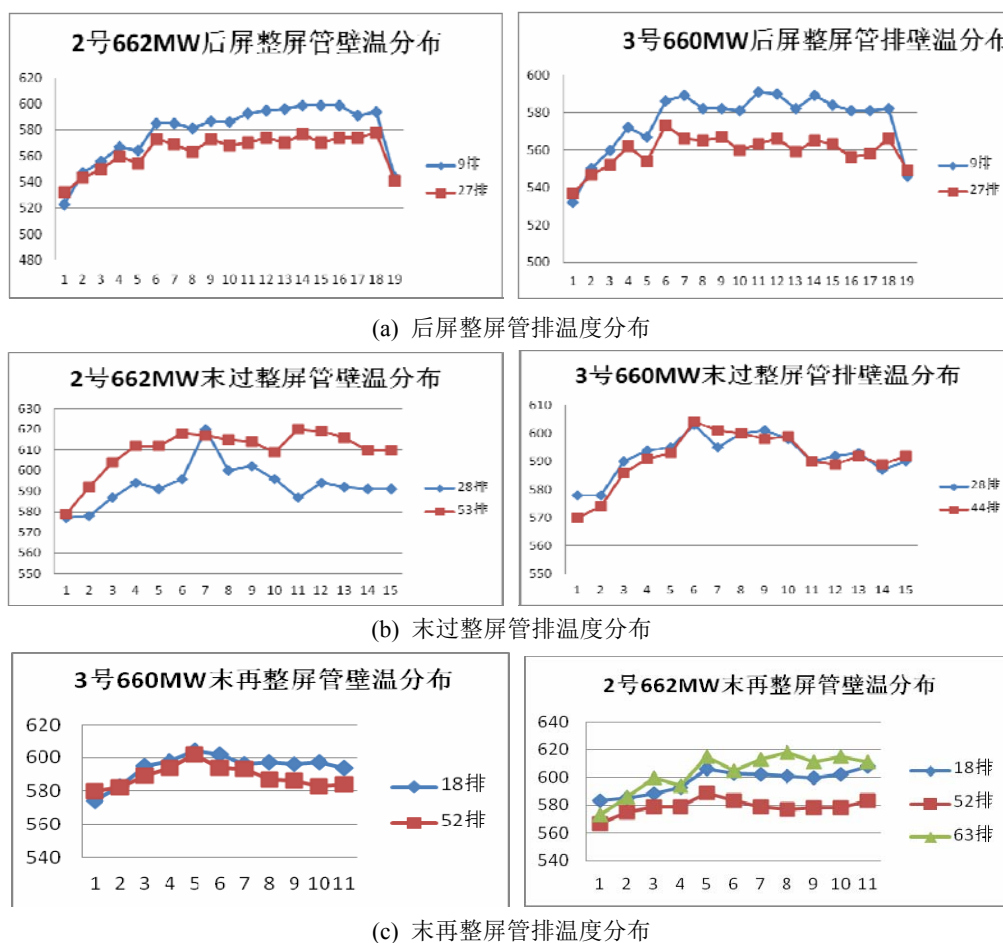


图3 2、3号整屏管排壁温对比

### 3 确定高温受热面增加壁温测点方案

#### 3.1 后屏过热器管屏出口管壁温测点方案(共137点)

(1) 整屏(5屏、27屏、34屏)加装56个测点,见表2~4。

表2 左数第5屏(右数第31屏)

| 管圈(外数) | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 编号     | 5-1  | 5-2  | 5-3  | 5-4  | 5-5  | 5-6  | 5-7  | 5-8  | 5-9  | 5-10 |
| 管圈(外数) | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   |      |
| 编号     | 5-11 | 5-12 | 5-13 | 5-14 | 5-15 | 5-16 | 5-17 | 5-18 | 5-19 |      |

表3 左数第27屏(右数第9屏)

| 管圈(外数) | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 编号     | 27-1  | 27-2  | 27-3  | 27-4  | 27-5  | 27-6  | 27-7  | 27-8  | 27-9  | 27-10 |
| 管圈(外数) | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    |       |
| 编号     | 27-11 | 27-12 | 27-13 | 27-14 | 27-15 | 27-16 | 27-17 | 27-18 | 27-19 |       |

表4 左数第34屏(右数第2屏)

| 管圈(外数) | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 编号     | 已装    | 34-2  | 34-3  | 34-4  | 34-5  | 34-6  | 34-7  | 34-8  | 34-9  | 34-9 |
| 管圈(外数) | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    |      |
| 编号     | 34-11 | 34-12 | 34-13 | 34-14 | 34-15 | 34-16 | 34-17 | 34-18 | 34-19 |      |

(2) 炉膛宽度方向增加壁温测点:每屏的第10根管,共32点。

(3) 集箱中部易积存异物管排14-20屏的第6、7、8、9、10、11、12、13根管,共49点。

#### 3.2 末级过热器管屏出口管壁温测点方案(共125点)

(1) 整屏增加测点:左数第10屏、第44屏和54屏,共40点,见表5~7。

表5 左数第10屏

| 管圈(外数) | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 编号     | 10-1 | 10-2  | 10-3  | 10-4  | 10-5  | 10-6  | 10-7  | 10-8 |
| 管圈(外数) | 9    | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |      |
| 编号     | 10-9 | 10-10 | 10-11 | 10-12 | 10-13 | 10-14 | 10-15 |      |

表6 左数第44屏

| 管圈(外数) | 1    | 2  | 3     | 4     | 5     | 6     | 7    | 8    |
|--------|------|----|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 编号     | 已装   | 已装 | 44-3  | 44-4  | 44-5  | 已装    | 44-7 | 44-8 |
| 管圈(外数) | 9    | 10 | 11    | 12    | 13    | 14    | 15   |      |
| 编号     | 44-9 | 已装 | 44-11 | 44-12 | 44-13 | 44-14 | 已装   |      |

表 7 左数第 54 屏

|        |      |       |       |       |       |       |       |      |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 管圈(外数) | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    |
| 编号     | 54-1 | 54-2  | 54-3  | 54-4  | 54-5  | 54-6  | 54-7  | 54-8 |
| 管圈(外数) | 9    | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |      |
| 编号     | 54-9 | 54-10 | 54-11 | 54-12 | 54-13 | 54-14 | 54-15 |      |

(2) 炉膛宽度方向: 双数屏 (2、4、6、8.....54、56) 第 7 根管 (28、44 屏第 7 根已加装), 共 25 点。

(3) 集箱中部易积存异物管排 25-32 屏的第 4、5、6、7、8、9、10、11 根管, 共 60 点。

3.3 末级再热器增加壁温测点方案 (共 65)

(1) 整屏增加测点: 左数 12 屏、52 屏、64 屏共 33 点, 见表 8~10。

表 8 左数第 16 屏

|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 管圈(外数) | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    | 11    |
| 编号     | 12-1 | 12-2 | 12-3 | 12-4 | 12-5 | 12-6 | 12-7 | 12-8 | 12-9 | 12-10 | 12-11 |

表 9 左数第 52 屏

|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 管圈(外数) | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    | 11    |
| 编号     | 52-1 | 52-2 | 52-3 | 52-4 | 52-5 | 52-6 | 52-7 | 52-8 | 52-9 | 52-10 | 52-11 |

表 10 左数第 64 屏

|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 管圈(外数) | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    | 11    |
| 编号     | 64-1 | 64-2 | 64-3 | 64-4 | 64-5 | 64-6 | 64-7 | 64-8 | 64-9 | 64-10 | 64-11 |

(2) 炉膛宽度方向: 双数屏 (2、4、6、8.....70) 第 6 根管 (18 屏、52 屏、68 屏第 6 根除外), 共 32 点。

4 结论

通过高温受热面在炉膛宽度方向和整排管排管壁温度分析对比, 确定增加壁温测点原则如下:

1) 在炉膛左中右侧分别选择壁温较高的管排整屏增加壁温测点。

2) 在炉膛宽度方向根据管屏数量隔排管屏中间壁温较高的管增加安装壁温测点。

3) 后屏、末过两侧进汽集箱, 考虑中部易积存异物的 7 个管屏中的第 6、7、8、9、10、11、12、13 根管增加安装壁温测点。

运行人员通过增加的壁温测点, 监视受热面管子壁温变化, 坚持受热面管壁温度调整主再热蒸汽温的原则, 进行燃烧优化调整, 有效的控制了高温受热面管超温问题。

作者简介:

- 王力强, 工程师, 长期从事电站锅炉检修、热力试验、调试、改造与技术监督工作;
- 祁永峰, 工程师, 长期从事电站锅炉运行、热力试验、调试、改造与技术监督工作;
- 初 光, 工程师, 长期从事电站热工检修、改造与技术监督工作。