

# “W”火焰锅炉燃烧最优化调整初探

## Study about Optimal Combustion in “W” Flame Boiler

李振宁<sup>1</sup>, 李玉峰<sup>1</sup>, 李长佶<sup>2</sup>

LI Zhen-ning<sup>1</sup>, LI Yufeng<sup>1</sup>, LI Chang-ji<sup>2</sup>

(1. 国投北部湾有限公司, 广西 北海 536017; 2. 广西电力试验研究院有限公司, 广西 南宁 530023)

(1. SDIC Beibuwan Electric Power Co., Ltd., Beihai 536017, China;

2. Guangxi Electric Power Test and Research Institute Co. Ltd., Nanning 530023, China)

**摘要:** 国投北部湾发电有限公司“W”型火焰锅炉通过变工况燃烧调整, 燃煤掺烧, 寻优运行方式, 总结出了一套实用的运行经验。改善了机组的安全经济状况。

**关键词:** “W”火焰; 燃烧; 掺烧; 调整; 分析

**Abstract:** A series of operation experience has been summarized to improve safety and economical conditions of “w” type flame boiler by SDIC Beibuwan Electric Power Co., Ltd., National Investment Co. through various adjustments of combustion condition, mixing fuel coals and optimization on operation modes.

**Key words:** “w” flame; combustion; mixing fuel; adjustment; analysis

中图分类号: TK227.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-8380(2006)05-0016-04

### 1 引言

国投北部湾发电有限公司设计煤种晋城无烟煤与校核煤种越南无烟煤着火温度均在 800℃ 以上, 挥发份低, 属难燃煤种。该煤种适合高煤粉浓度、低一次风速燃烧。

美国 B & W 公司早在上世纪 70 年代, 就在热天平中利用煤的失重分析来描述无烟煤的特性。快速失重可以解释成燃料燃烧过程的开始, 快速失重的起始温度, 无烟煤远高于烟煤; 无烟煤的最大失重速率比烟煤要低, 说明无烟煤燃烧速度要慢于烟煤; 过峰值后的失重率, 无烟煤比烟煤要慢, 说明无烟煤燃烬比烟煤要慢。

针对无烟煤燃烧特点, 我公司一期 2 × 300 MW 机组选用北京巴 威公司生产的“W”火焰锅炉, 型号为 B & WB - 1025/17.4 - M。采用双进双出磨煤机正压直吹式制粉系统, “W”形火焰燃烧方式, 并配置 B & W 专门用于燃用低挥发份燃料的浓缩型 EI - XCL 低 NO<sub>x</sub> 双调风旋流燃烧器。

两台机组投入商业化运营初期燃烧状况较差,

飞灰含碳量最高达 36.2%。针对锅炉燃烧存在问题, 进行了大量的运行调整试验, 从而优化燃烧, 改善了机组安全经济状况。

### 2 配风调整

#### 2.1 调整目的

通过燃烧配风调整, 降低飞灰含碳量, 降低灰渣含碳量, 控制排烟温度, 提高锅炉运行安全经济性。

#### 2.2 调整方法

进行试验前工况整定, 具备试验条件后, 按调整量逐一进行调整, 将同一调整量的 3 个不同工况进行比较, 得出最佳值, 然后利用各个调整量的最佳值进行综合优化。调整的变量有:

- 工况 1~3 省煤器出口氧量;
- 工况 4~6 调风盘开度;
- 工况 7~9 内二次风叶片角度;
- 工况 10~12 外二次风叶片角度;
- 工况 13 优化。

收稿日期: 2006-03-28; 修订日期: 2006-05-31

作者简介: 李振宁 (1976-), 男, 工程师, 毕业于华北电力大学, 主要从事锅炉运行及管理工作。

2.2.1 氧量调整

氧量的变化即过量空气系数的变化。排烟损失随着过量空气系数升高而上升,在临界点以下,排烟损失上升趋势缓慢,当超过这一点后,排烟热损失明显加快。随着过量空气系数的增加,飞灰含碳量降低,煤粉燃烧趋于完全。增大风量所带来的负面影响是排烟热损失增大、减温水量增加、风机电耗增加等。因此,调整时要综合考虑选出恰当的过量空气系数。

在额定负荷下,保持二次风配风方式不变,改变总风量,使省煤器出口氧量分别在几个不同的点(设计氧量附近)下进行调整,从而得出最经济氧量点,以提高锅炉的经济性。

2.2.2 燃烧器调风盘的调整

该炉型采用专门用于燃用低挥发份燃料的浓缩型 EI-XCL 低 NO<sub>x</sub> 双调风旋流燃烧器,在结构上设计了内外二次风套筒,采用调风盘分配进入内外二次风套筒风量,调风盘开度减小时,使内二次风减小,外二次风增大;同时,内二次风的旋流强度减弱,外二次风对炉内煤粉气流向下牵引增大,延长了煤粉在炉内的燃烧行程,使飞灰含碳量降低。但调风盘开度过小,会影响煤粉着火初期氧量供给和燃烧的稳定性,尤其在低负荷时,调风盘开度对燃烧稳定性的影响特别明显。

2.2.3 燃烧器内外二次叶片调整

燃烧器内外二次风套筒内设计了旋流叶片,通过叶片角度的改变,用于调节内外二次风的旋流强度,进而调整火焰下冲和旋转,改变煤粉燃烧的工况。

开大外二次风门,着火点变远;反之,关小外二次风门,着火点拉近。开大外二次风门,火焰刚性加强。从保证煤粉火焰安全燃烧的角度来讲,外二次风门的开度过大会使火焰尾部黑龙加长。在保证安全性的前提下,适当开大外二次风,飞灰含碳量明显减小,可提高运行经济性。

关小内二次风门,燃烧器火焰旋流强度增大,着火距离缩短,火焰刚性减弱,炉膛火焰稳定性增加,对于燃用低挥发份无烟煤而言,可保证运行安全性。内二次风门加大后飞灰含碳量将有所上升,合理调整内二次风门将取决于锅炉安全性与经济性的平衡点。

2.3 调整数据

2.3.1 标定变量

对如下变量进行标定:

- 燃烧器二次风分隔仓挡板开度为 75 %;
- 分级风二次风分隔仓挡板开度为 55 %;
- 内二次风叶片角度全部调到 40 °;
- 外二次风叶片角度全部调到 60 °;
- 调风盘开度全部调到 120 mm。

2.3.2 变工况数据对比

表 1 中数据是 1 号炉燃用设计煤种晋城无烟煤在吹灰后 4~6 h 测得。其中工况 13 中将省煤器出口氧量设定在 5.2 %,调风盘内部开度全部调到 120 mm,内二次风叶片角度全部调到 45 °,外二次风叶片角度全部调到 65 °,前后墙进入燃烧器二次风分隔仓挡板开度为 75 %,前、后墙进入分级风二次风分隔仓挡板开度为 55 %。

表 1 燃烧调整变工况数据表

| 试验<br>工况 | 变量          | 变量值 | 测 试 值      |              |          |           |                           |      |     |      |     |        |      |      |       |     |
|----------|-------------|-----|------------|--------------|----------|-----------|---------------------------|------|-----|------|-----|--------|------|------|-------|-----|
|          |             |     | 负荷<br>/ MW | 主汽压<br>/ MPa | 主汽温<br>/ | 再热汽温<br>/ | 减温水量/ T · H <sup>-1</sup> |      |     |      |     | 含炭量/ % |      |      | 排烟温度/ |     |
|          |             |     |            |              |          |           | A1                        | B1   | A2  | B2   | 再   | A 灰    | B 灰  | 渣    | A     | B   |
| 1        | 氧量<br>/ %   | 4.8 | 299.3      | 16.0         | 537.6    | 537.1     | 17.5                      | 18.7 | 5.5 | 8.8  | 0   | 15.0   | 14.1 | 10.6 | 125   | 127 |
| 2        |             | 4.2 | 299.4      | 15.9         | 536.6    | 533.6     | 13.0                      | 12.4 | 4.5 | 2.8  | 0   | 14.6   | 14.4 | 18.8 | 121   | 127 |
| 3        |             | 5.2 | 298.8      | 16.0         | 536.7    | 534.7     | 29.3                      | 30.9 | 4.8 | 8.0  | 0   | 11.7   | 14.3 | 7.3  | 125   | 133 |
| 4        | 调风盘<br>/ mm | 120 | 299.3      | 16.0         | 537.6    | 537.1     | 17.5                      | 18.7 | 5.5 | 8.8  | 0   | 15.0   | 14.1 | 10.6 | 125   | 127 |
| 5        |             | 145 | 299.4      | 15.9         | 536.6    | 533.6     | 19.0                      | 20.4 | 9.5 | 8.8  | 7.8 | 17     | 18   | 10.7 | 123   | 136 |
| 6        |             | 100 | 299.6      | 16.3         | 539      | 537       | 18.5                      | 21.9 | 6.5 | 10.0 | 0   | 12.6   | 11.3 | 25.4 | 129   | 134 |
| 7        | 内二次风<br>/ ° | 40  | 299.3      | 16.0         | 537.6    | 537.1     | 17.5                      | 18.7 | 5.5 | 8.8  | 0   | 15.0   | 14.1 | 10.6 | 125   | 127 |
| 8        |             | 30  | 302.4      | 15.8         | 539.8    | 538.7     | 17.0                      | 19.4 | 7.5 | 10.6 | 3   | 16.7   | 17.6 | 10.8 | 124   | 128 |
| 9        |             | 50  | 288.4      | 15.7         | 538.2    | 536.4     | 18.1                      | 18.9 | 6.2 | 7.8  | 2   | 13.7   | 15.3 | 19.3 | 128   | 130 |
| 10       | 外二次风<br>/ ° | 60  | 299.3      | 16.0         | 537.6    | 537.1     | 17.5                      | 18.7 | 5.5 | 8.8  | 0   | 15.0   | 14.1 | 10.6 | 125   | 127 |
| 11       |             | 45  | 303.4      | 16.4         | 538.2    | 541.6     | 15.0                      | 17.4 | 8.2 | 6.1  | 0   | 16.2   | 18.7 | 12.8 | 127   | 139 |
| 12       |             | 70  | 296.5      | 16.7         | 542.3    | 543.7     | 22.5                      | 23.5 | 4.0 | 6.0  | 0   | 14.3   | 15.1 | 16.7 | 125   | 133 |
| 13       | 优 化         |     | 301.8      | 16.3         | 542.5    | 543.7     | 14.2                      | 15.8 | 5.8 | 6.7  | 0   | 10.2   | 12.3 | 11.2 | 127   | 135 |

### 3 掺烧调整

#### 3.1 调整目的

适应入炉煤种因市场原因的频繁变化,利用入厂煤种(见表 2)通过掺烧调整,使得在入炉煤种偏离设计煤种时达到锅炉安全经济运行的目的。

表 2 北海入厂煤种

| 煤 种                 | 干燥无灰基挥发份<br>Vdaf<br>/ % | 收到基低位发热量<br>Q <sub>net, v, ar</sub><br>/ kJ · kg <sup>-1</sup> |
|---------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 晋城无烟                | 6 ~ 8                   | 22572 ~ 24662                                                  |
| 越南 10B <sub>1</sub> | 7 ~ 8                   | 21736 ~ 22572                                                  |
| 越南 10B <sub>2</sub> | 7 ~ 8                   | 20482 ~ 21736                                                  |
| 越南边贸                | 7 ~ 9                   | 20900 ~ 22154                                                  |
| 长治贫瘦                | 13 ~ 15                 | 24070 ~ 24916                                                  |

#### 3.2 调整方法

在不同掺烧方式下,根据掺烧后入炉煤挥发份变化及着火难易度,改变燃烧配风,调整炉膛火焰中心位置与炉膛温度场,从而达到稳定燃烧,优化锅炉经济指标。

#### 3.3 调整数据

##### 3.3.1 设计煤种晋城无烟煤与越南无烟煤掺烧

燃用设计煤种晋城无烟煤时,一次风压设定 6.8 ~ 7.0 kPa,分级风 50%,内二次风 45°,外二次风 60°,调风盘 120 mm,火焰中心平均温度 1 540,燃烧器壁温 400 ~ 500。

掺烧越南煤后,燃烧调整前,按 10B<sub>1</sub>, 10B<sub>2</sub> 边贸煤顺序或越南煤的比例递增顺序,下列参数朝同一方向递增变化(与单烧晋城煤相比):挥发份降低,着火时间推迟,火焰中心温度下降,火焰中心下移;由于热值下降,入炉煤量增加;灰渣含碳量增加。

##### 3.3.2 校核煤种越南无烟煤与长治贫瘦煤掺烧

燃用校核煤种越南无烟煤时,一次风压设定 7.2 ~ 8.0 kPa,分级风 50% ~ 70%,内二次风 35°,外二次风 50°,调风盘 140 ~ 185 mm,火焰中心平均温度 1 430,未调整前燃烧器壁温最低 320。

掺烧 30%以上贫瘦煤,燃烧调整前,按贫瘦煤的比例递增顺序,下列参数朝同一方向递增变化(与单烧越南煤相比):挥发份升高,着火时间提前,未调整前燃烧器壁温最高 650,火焰中心温度上升,火焰中心上移;灰渣含碳量减小。

### 4 调整分析

#### 4.1 变工况调整燃烧配风

变工况调整期间,省煤器出口氧量为 5.2% 时,飞灰含碳量明显下降,A 侧飞灰由最高时 36.2% 降到 11.67%;B 侧飞灰由最高时 25.63% 降到 14.34%;灰渣含碳量由最高时 40.6% 降到 7.34%;氧量在 4.2% 与 5.2% 时测得炉膛温度场基本相同,炉膛火焰中心温度维持在 1 400 ~ 1 600。建议较高氧量运行,有利于无烟煤燃尽。

调风盘内部开度在 100 ~ 120 mm 之间时,内外二次风分配较平衡;内二次风叶片角度 45°,外二次风叶片角度 65°,前后墙进入燃烧器二次风分隔仓挡板开度为 75% 及进入分级风二次风分隔仓挡板开度为 55% 时,燃烧器旋流强度适中,火焰行程较长,利于煤粉燃尽。

虽然提高旋流强度有利于减小炉渣可燃物,增加外二次风强度有利于减小飞灰可燃物,但单一过度调整,会失之偏颇;而且,着火点的过度提前与推后,都会提高排烟温度与减温水量。

实际排烟温度与减温水量高于设计值。在连续高负荷运行时应加强吹灰。

1 号炉后墙炉膛温度高出前墙炉膛温度约 100 ~ 150,考虑原因为从空预器出口到前后墙燃烧器二次风道阻力特性不同。运行中应维持燃烧器二次风挡板开度前墙大于后墙约 10%。

遵照无烟煤低一次风速燃烧原则,在满足风煤比大于 1.2 的基础上,逐渐降低一次风压运行,以达到煤粉浓缩效果(相关作用见本文 4.3 部分)。1 号炉一次风压设定值为 6.8 ~ 7.5 kPa 之间,磨煤机容量风门挡板开度约在 30% ~ 60%,上下均有调整裕度,协调性能良好;2 号炉在一次风压低于 8.0 kPa 时,磨煤机容量风门开度达 80%,磨煤机出力受到制约,机组协调控制开始摆动。随入炉煤热值降低、额定负荷入炉煤量的增加,一次风压设定值应相应升高。

#### 4.2 掺烧调整燃烧配风

##### 4.2.1 设计煤种晋城无烟煤与越南无烟煤掺烧

随入炉煤量增加对应提高一次风压,开大分级风开度,关小内二次风角度,关小外二次风角度,增加调风盘内部开度以增加内二次风份额,从而加强火焰旋流,提高火焰中心,有效遏止火焰下冲。调整数据见表 3。

4.2.2 校核煤种越南无烟煤与长治贫瘦煤掺烧

随入炉煤量减小对应降低一次风压;关小分级风开度,开大内二次风角度,开大外二次风角度,减小调风盘内部开度以减小内二次风份额,从而减弱

火焰旋流,降低火焰中心温度(调整前火焰中心最高温度 1 660 ),提高火焰刚性,延长火焰行程,避免其提前进入上炉膛造成飞灰含碳量与排烟损失增加。调整数据见表 3。

表 3 入炉煤掺烧方案与燃烧调整参数对照表

| 掺配煤种         | 内调风角度<br>/ ° | 外调风角度<br>/ ° | 调风盘内部开度<br>/ mm | 分级风<br>/ % | 一次风压<br>/ kPa | 火焰中心温度<br>/ | 燃烧器壁温<br>/ |
|--------------|--------------|--------------|-----------------|------------|---------------|-------------|------------|
| 晋城无烟         | 45           | 60           | 120             | 50         | 6.8 ~ 7.0     | 1 540       | 400 ~ 500  |
| 越南 10B1      | 35 ~ 40      | 50           | 140 ~ 185       | 50 ~ 70    | 7.2 ~ 8.0     | 1 430 (min) | 300 (min)  |
| 越南 10B1 晋城无烟 | 40 ~ 45      | 55 ~ 60      | 120 ~ 140       | 50 ~ 60    | 7.0 ~ 7.5     |             |            |
| 越南 10B2 晋城无烟 | 40 ~ 45      | 55 ~ 60      | 120 ~ 140       | 50 ~ 60    | 7.0 ~ 7.5     |             |            |
| 越南边贸 晋城无烟    | 35 ~ 40      | 50 ~ 55      | 140 ~ 185       | 60 ~ 70    | 7.5 ~ 8.0     |             |            |
| 越南 10B1 长治贫瘦 | 50 ~ 55      | 60 ~ 65      | 80 ~ 100        | 40 ~ 50    | 6.8 ~ 7.0     | 1 660 (max) | 650 (max)  |
| 越南 10B2 长治贫瘦 | 45 ~ 50      | 60 ~ 65      | 100 ~ 120       | 40 ~ 50    | 6.8 ~ 7.2     |             |            |
| 越南边贸 长治贫瘦    | 45 ~ 55      | 60           | 100 ~ 120       | 40 ~ 50    | 7.0 ~ 7.5     |             |            |

4.3 NO<sub>x</sub> 控制

随入炉煤挥发份降低,NO<sub>x</sub> 排放浓度会快速提升,燃用无烟煤的炉型要远高于燃用烟煤的炉型。采用“W”火焰燃烧方式,是目前综合考虑锅炉效率与 NO<sub>x</sub> 排放浓度较先进的无烟煤燃烧方式。降低氮氧化物常用的方法是煤粉浓缩和分级配风。

我公司浓缩型 EI - XCL 燃烧器的入口管弯头处接一根乏气引出管。从煤粉管道来的煤粉,先进入偏心异径管,使煤粉流动速度增高,并流向浓淡分离装置的弯头外侧,实现煤粉浓淡分离,淡相气流由乏气喷口直接喷入炉膛燃烧,进入主燃烧器浓相煤粉高达总粉量的 85 % ~ 90 %,浓相煤粉与气流量各占 50 %,因而使浓相气流的煤粉浓度提高 1.7 ~ 1.8 倍。阳光发电厂二期工程锅炉的双调风燃烧器没有配置煤粉浓淡分离装置,乏气直接从磨煤机出口分离器引出,其原理是煤粉颗粒在离心力作用下被甩到分离器的周边,在中心部分是煤粉浓度很稀、颗粒更细的混合物,即乏气。华能上安电厂燃烧器则与我公司相似,有浓缩装置,并且在浓缩之后,引一路热风到燃烧器喷口提温助燃。总之,不论何种结构,由于乏气的引出,提高了煤粉浓度,有利于着火、稳燃。

对于我公司锅炉燃烧型式而言,风粉混合物中一次风满足着火的初级阶段,内二次风补偿随后的进一步燃烧,外二次风、乏气与分级风则提供满足煤粉燃烬的后期风量补给。这种典型的分级配风,对于维持燃烧各阶段的稳定性,起到至关重要的作用。

巴威公司双调风旋流燃烧器 NO<sub>x</sub> 排放浓度在阳光发电为 800 mg / m<sup>3</sup>,华能南通为 600 mg / m<sup>3</sup>,我公司为 500 mg / m<sup>3</sup>,在目前巴威公司的投产炉型中属较好水平。

5 结论

在投产后的一年内,针对不同煤种、不同负荷通过大量的燃烧调整工作,摸索出一整套实践经验,锅炉各项指标明显好转。满负荷飞灰含碳量由 28 % 降到 6 % ~ 9 %;炉渣含碳量由 46 % 降到 6 % ~ 8 %;换算发电标煤耗由投产时的 329 g / kW · h 降为 310 ~ 320 g / kW · h。2005 年公司供电煤耗 340. 48 g / kW · h,比试用期间平均供电煤耗 349 g / kW · h 降低约 8 g / kW · h,低于华靖公司控制目标,居全国同类机组前列。2005 年公司供电量 3 797 GW · h,节约标煤 3. 04 × 10<sup>4</sup> t,按 600 元 / t 计算,年降低生产成本 1 824 万元。

欢迎来稿

欢迎订阅