

# 660MW四角切圆锅炉烟温偏差数值模拟研究

● 李德波 冯永新

广东电网有限责任公司电力科学研究院 广州 510060

## 摘要：

对1台660MW四角切圆燃烧锅炉，进行SOFA配风方式和喷口摆角对锅炉下炉膛出口和炉膛出口烟窗温度分布和温度不均匀系数影响的数值模拟研究，对比其对锅炉烟温偏差的影响。使用混合分数/PDF模型模拟气相湍流燃烧，进行了多工况下的炉内流动、燃烧、污染物排放和煤粉颗粒燃尽率等研究。通过现场试验数据的验证，表明该模型可较为合理地模拟锅炉燃烧特性的影响。结果表明，SOFA风量增加，煤粉燃尽率降低，下炉膛出口截面烟温（L-FEGT）和炉膛出口烟窗截面温度（FEST）上高，炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数减小，对减小炉膛出口烟温偏差产生正面作用，且SOFA风率的增加有利于污染物NO<sub>x</sub>排放的降低；SOFA反切二次风方向的水平摆角增大，下炉膛出口截面中心高温区和炉膛出口烟窗截面左侧高温区均减小，有利于降低锅炉烟温偏差；向上摆动SOFA喷口，炉膛上部燃尽区的高温区上移，下炉膛出口截面平均温度和炉膛出口烟窗截面平均温度增加，炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数加大，煤粉总的燃尽率下降但降低幅度较小，说明SOFA喷口向下摆动有利于降低烟温偏差。研究结果可为实际锅炉燃烧调整降低烟温偏差提供参考依据。

关键字：锅炉，SOFA，摆角方式，风量配比，烟温偏差，数值模拟

## 前言

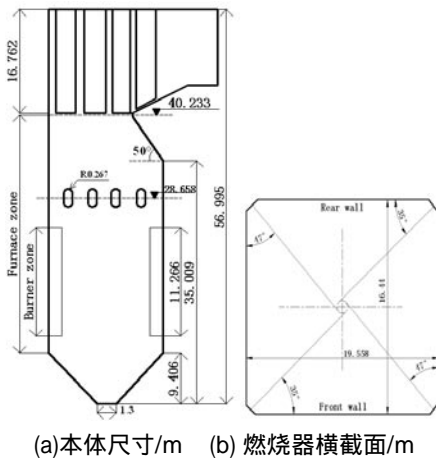
四角切圆布置煤粉锅炉具有燃烧稳定、燃烧效率高以及煤种适应性强等特点而得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。但在其运行中，由于炉膛出口的烟气残余扭转引起水平烟道中烟气速度分布不均匀，进而产生烟温偏差<sup>[4]</sup>，且锅炉体积越大，偏差越大<sup>[5]</sup>。温度和速度偏差是造成过热器超温爆管的直接原因，在锅炉实际运行过程中应尽量避免此类现象。切圆燃烧锅炉“残余旋转”造成烟温偏差及其带来的影响，目前的解决方法有：高小涛认为可根据煤种情况进行燃烧调整解决<sup>[6]</sup>；杨红权等主张通过在线计算热偏差，调整燃烧组织方式<sup>[7]</sup>；另外许多学者的研究都表明利用反切风组织燃烧可有效减小残余旋转<sup>[8-10]</sup>，以降低烟温偏差。

某电厂660MW四角切圆燃煤锅炉存在较严重的烟温偏差问题，在实际运行过程中给该厂造成较大的安全隐患。某次改造后，该型锅炉在炉膛侧水冷壁上，以水平对冲方式安装4对分离式燃尽风（separated over-fire air, SOFA），SOFA喷口可水平方向左右摆动15°和竖直方向上下摆动15°，以此调节锅炉主蒸汽温度。本文通过数值模拟的方法研究SOFA配

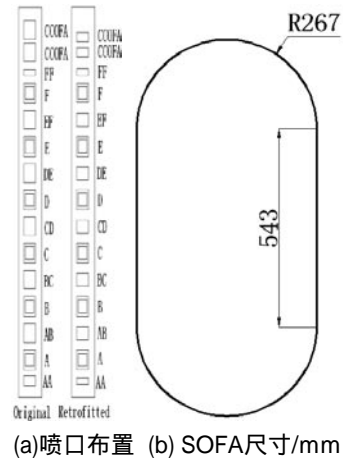
风方式和喷口摆角对下炉膛出口和炉膛出口烟窗温度分布和温度不均匀系数的影响，研究其对锅炉烟温偏差的影响，研究结果可为实际锅炉燃烧调整降低烟温偏差提供参考依据。

## 1. 锅炉概况

模拟锅炉为660MW四角切圆燃煤锅炉，锅炉本体高度57m、宽19.558m，以及深16.44m，炉膛燃烧器横截面示意图见图1(b)。锅炉每角布置6层一次风（PA）喷口，7层二次风（SA）喷口，2层紧凑型燃尽风喷口（close coupled over-fire air, CCOFA）；炉膛侧水冷壁上，以水平对冲方式安装4对SOFA燃烧器。制粉系统采用钢球磨机，直吹式，5运1备（模拟过程中最上层停运）。总燃尽风量（包括CCOFA和SOFA）占二次风总量的37.2%，其中SOFA占26.8%（100%风量），进一步提高锅炉的空气分级程度，降低污染物NO<sub>x</sub>的排放。锅炉本体尺寸和炉膛横截面示意图见图1，线P1，P2分别代表L-FEGT截面和FEST截面；点L1和L2表示锅炉上部区域Y方向温度检测线。燃烧器布置和SOFA喷口尺寸见图2；模拟煤质为电厂运行燃煤，其煤质分析见表1。



(a)本体尺寸/m (b) 燃烧器横截面/m  
图1 锅炉本体尺寸和炉膛横截面示意图



(a)喷口布置 (b) SOFA尺寸/mm  
图2 锅炉本体尺寸、燃烧器布置和炉膛横截面示意图

表1 煤质分析

| 项目 | 工业分析 (收到基, wt %) |      |      |                | 元素分析 (收到基, wt %) |      |      |      |      | 发热量 (KJ/kg)          |
|----|------------------|------|------|----------------|------------------|------|------|------|------|----------------------|
|    | 全水               | A    | V    | F <sub>C</sub> | C                | H    | O    | N    | S    | Q <sub>收到基, 低位</sub> |
| 煤质 | 12.0             | 13.0 | 27.3 | 46.7           | 60.51            | 4.20 | 9.16 | 0.70 | 0.43 | 23 958               |

## 2. 数学模型和计算方法

### 2.1 数学模型

采用混合分数/PDF模型模拟气相湍流燃烧，PDF采用截断高斯分布<sup>[11]</sup>；采用颗粒随机轨道模型分别模拟煤粉颗粒污泥颗粒的运动<sup>[12]</sup>；焦炭燃烧则采用动力/扩散控制反应速率模型<sup>[13]</sup>；辐射传热计算采用P1法<sup>[14]</sup>。压力速度的耦合采用SIMPLE法求解。为研究SOFA摆角和风量变化对锅炉燃烧特性的影响，进一步开展了NO<sub>x</sub>排放特性研究。煤粉燃烧NO<sub>x</sub>生成/还原模型中主要考虑热力型NO<sub>x</sub><sup>[15]</sup>和燃料型NO<sub>x</sub><sup>[16]</sup>。热力NO<sub>x</sub>生成模型采用经典的广义Zeldovich机理。燃料型NO<sub>x</sub>根据De Soete机理，分为挥发分NO<sub>x</sub>和焦炭NO<sub>x</sub>两部分：热解中间产物为HCN，挥发分N全部转化为HCN，转换效率为0.8，HCN被O<sub>2</sub>氧化为NO，也可还原NO生成N<sub>2</sub>；而焦炭N则直接转化为NO，转化效率为1。模拟运算中NO和HCN计算残差小于10<sup>-8</sup>，其余各项计算残差小于10<sup>-4</sup>。

为评价水平烟道烟气温度分布的不均匀性，本文采用P2的温度分布不均匀性系数M和距离两侧墙相同距离处温差 T来评价锅炉烟温偏差。其中M=σ/t<sub>m</sub>，σ为标准误差，t<sub>m</sub>为温度截面样本平均温度；通过商用CFD软件导出炉膛出口烟窗截面温度云图，见图1的FEST截面所示，经过相关数据处理，得到截面样本点温度值t<sub>i</sub> (i=0-n, n为样本点数目，为1500)。

$$\text{则： } t_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad \sigma = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - t_m)^2 \right]^{1/2};$$

M值越小，温度越均匀，烟温偏差越小。

T<sub>x</sub>=t<sub>1x</sub>-t<sub>2x</sub>，t<sub>1x</sub>，t<sub>2x</sub>分别是L1(或L2)上距离左、右侧墙x(m)处温度。文献1对某600MW锅炉给出两侧侧墙的温度测量偏差方法，大致为图1的L1，文献2对某大型四角切圆煤粉炉温度偏差的测量手段大致为图1的L2所示；L1和L2样本点数目均为56。

### 2.2 网格处理

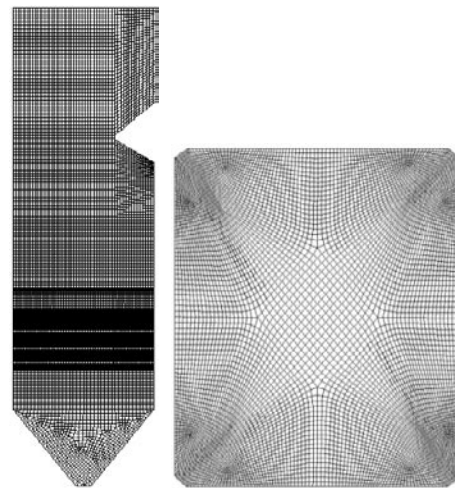


图3 锅炉中心截面和燃烧器中心截面网格划分

模型网格划分的优劣直接关系到模拟结果的合理性。本文采用分区画网格法，将计算区域分解为冷灰斗区域（模型中0-14m层）、燃烧器区域（14-26m层）、燃尽区域（26-40m层）和屏式过热器区域（40-57m层）。考虑屏式过热器和再热器，更加准确地模拟炉膛内部烟气流动和温度分布。为减少

网格伪扩散给模拟带来的偏差,对燃烧器区域网格进行加密。为了提高计算的精度,燃烧器区域与炉膛的连接面设置为interface,防止两个面的网格质量和网格形状差异较大而引起误差。为了兼顾计算量和网格的合理性,此次模拟锅炉模型总网格数目约200万,具体网格划分见图3。

### 2.3 边界条件

离散方法均采用一阶迎风格式。一次风、二次风均采用质量入口边界条件,流量、温度为设计参数。燃尽风和周界风本体进行适当简化,根据实际尺寸构建入口模型,其质量流量根据设计参数及工

况条件计算得到。采用压力出口边界条件,出口压力设置为-80Pa。炉膛壁面采用标准壁面方程,无滑移边界条件,热交换采用第二类边界条件,即温度边界条件,给定壁面温度和辐射率,壁面温度设置为690K,壁面辐射率设置为0.7。

煤粉颗粒直径按照Rosin-Rammler方法分布,假定在颗粒直径d与大于此直径的颗粒的质量分数Y<sub>d</sub>之间存在指数关系: $Y_d = -e^{-(d/\bar{d})^n}$ ,其中d为平均直径,n为分布指数。根据实际煤粉颗粒情况,模拟中设置最小粒径5 μm,最大粒径250 μm,平均粒径60 μm,分布指数n=1.5。煤粉质量百分比含量与煤粉粒径之间的关系见表2。

表2 煤粉质量含量与粒径分布关系

| 粒径(μm)  | >5   | >15  | >30  | >55  | >90  | >130 | >170 | >210 | >250 | >300  |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 质量分数(%) | 97.6 | 88.2 | 70.2 | 41.6 | 15.9 | 4.12 | 0.85 | 0.14 | 0.02 | 0.001 |

本文通过数值模拟的方法研究满负荷下SOFA的配风风率和喷口摆动方式对锅炉烟温偏差的影响,共开展14个工况,其中工况1-5为SOFA占二次风风率16.1%-26.8%(对应60%~100%SOFA风量)的工况;工况6-8为SOFA喷口不同水平摆角工况(反切二次风方向);工况9-14为SOFA喷口竖直摆动工况,向上为正,向下为负。具体工况特性见表2。

表3 模拟工况表

| 工况 | 风率 <sup>a</sup> | 水平摆角 | 竖直摆角 |
|----|-----------------|------|------|
|    | %               | °    | °    |
| 1  | 26.8            | 0    | 0    |
| 2  | 24.1            | 0    | 0    |
| 3  | 21.4            | 0    | 0    |
| 4  | 18.8            | 0    | 0    |
| 5  | 16.1            | 0    | 0    |
| 6  | 26.8            | 5°   | 0    |
| 7  | 26.8            | 10   | 0    |
| 8  | 26.8            | 15   | 0    |
| 9  | 26.8            | 0    | -15° |
| 10 | 26.8            | 0    | -10  |
| 11 | 26.8            | 0    | -5   |
| 12 | 26.8            | 0    | 5    |
| 13 | 26.8            | 0    | 10   |
| 14 | 26.8            | 0    | 15   |

## 3. 结果分析

### 3.1 模拟验证分析

为验证模型的数学模型和网格结构的合理性,

对比了相同配风条件的现场实验数据与数值模拟结果,见表3。结果表明,NO<sub>x</sub>排放(6%O<sub>2</sub>)相对误差为4.35%,下炉膛出口烟温(L-FEGT)的相对误差为2.50%,炉膛出口飞灰含碳量和出口氧量相差较小,数值模拟结果与现场实验数据结果相一致,说明模拟实验中所采用的数值模型和网格可以合理地模拟炉膛内的烟气流动、燃烧、传热/传质和出口NO<sub>x</sub>排放特性。

表4 模拟数据与现场实验数据对比

| 项目  | 出口氧量      | CFA  | L-FEGT | NO <sub>x</sub>   |     |
|-----|-----------|------|--------|-------------------|-----|
|     | %         | %    | K      | mg/m <sup>3</sup> |     |
| 工况1 | Measured  | 3.60 | 2.91   | 1523              | 345 |
|     | Predicted | 3.24 | 2.90   | 1485              | 360 |

### 3.2 SOFA风量对烟温偏差的影响

SOFA风量为100%时,占到二次风总量的26.8%,其风量直接关系炉膛整体空气分级水平,影响烟气流动和燃烧,对屏式换热器区域的烟温偏差产生影响。图4和图5分别是工况1-5的炉膛中心截面的温度场和速度场云图。结果表明,随着SOFA风量增大,由于总风量保持不变,炉膛燃烧器区域(高度方向14-26m)空气量减少,风速降低,炉膛主燃烧区温度降低,燃烧欠充分;燃尽风以上燃尽区域(26-40m层),燃料燃烧滞后致使补充大量燃尽风后未燃尽的煤粉颗粒剧烈燃烧反应,烟温上升。图6是下炉膛出口截面的温度场云图,结果显示,随着SOFA风门开度由工况5的60%增加到工况1的100%,下炉膛出口截面中心高温区域面积增大,整体烟温增加。

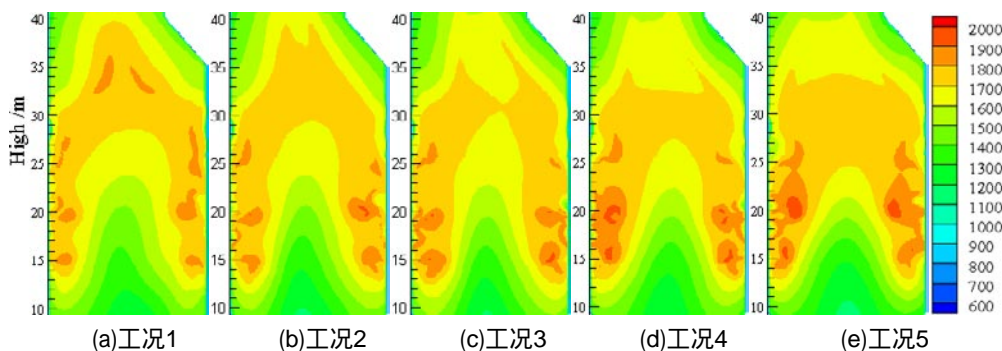


图4 不同SOFA风量工况炉膛中心截面的温度场云图

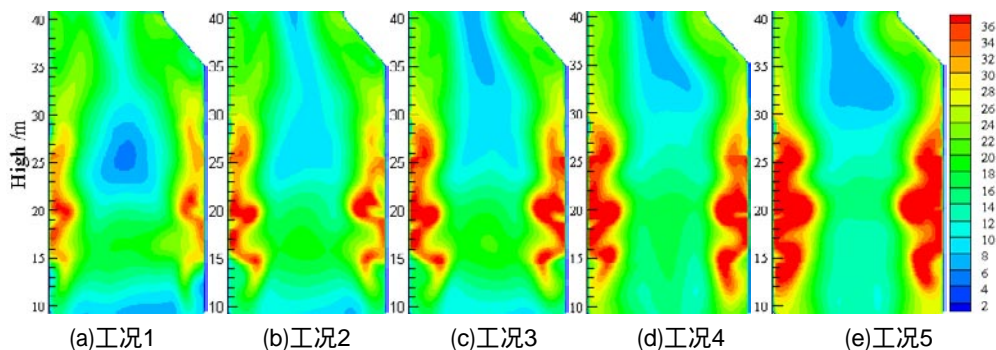


图5 不同SOFA风量工况炉膛中心截面的速度场云图

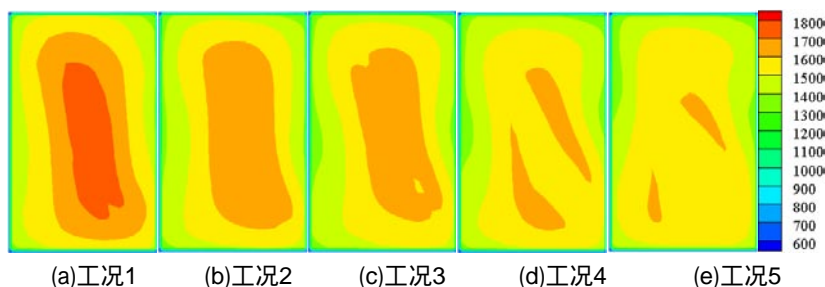


图6 不同SOFA风量工况P1温度场云图

表5 FEST、M、煤粉燃尽率及出口NO<sub>x</sub> (6%O<sub>2</sub>) 结果对比

| case | 风率 <sup>a</sup> | FEST  | M     | 燃尽率 <sup>b</sup> | NO <sub>x</sub>   |
|------|-----------------|-------|-------|------------------|-------------------|
|      | %               | K     | %     | %                | mg/m <sup>3</sup> |
| 1    | 26.8            | 964.6 | 12.35 | 98.50            | 359.4             |
| 2    | 24.1            | 958.0 | 12.43 | 98.61            | 400.7             |
| 3    | 21.4            | 948.3 | 13.38 | 98.71            | 417.9             |
| 4    | 18.8            | 945.1 | 13.63 | 98.78            | 493.8             |
| 5    | 16.1            | 934.6 | 13.70 | 98.80            | 512.9             |

注：a SOFA风量，总风量一定

b 炉膛出口煤粉燃尽率

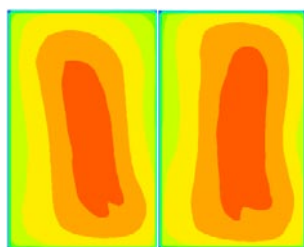
表4是工况1至工况5炉膛出口烟窗截面平均温度、不均匀系数及煤粉燃尽率等结果。可以看出，当SOFA风量减小后，根据以上所述，SOFA风量降低，炉膛主燃烧区风量增加，煤粉燃烧较充分，未燃尽的煤粉颗粒燃烧减少，煤粉出口燃尽率提高；炉膛上部SOFA风补充减少，燃烧剧烈程度降低，下炉膛出口烟温降低，炉膛出口烟窗截面温度也降

低；工况5相比较工况1，炉膛出口烟窗截面平均温度下将30°C，出口燃尽率提高0.3%，整体燃尽率差异较小。对比5个工况发现随着SOFA风量的增加，其炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数减小，说明烟温偏差降低。这可能是由于SOFA风量增加，SOFA风量提高，炉膛主燃烧区风量减少，旋流强度有所降低，大量的SOFA风对冲，进一步减低了炉膛出口的烟气残余扭转强度，致使炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数减小，烟温偏差降低。由此说明，增加SOFA风量，可对减小炉膛出口烟温偏差的控制产生正面作用。且增加SOFA风量，由于炉膛空气分级水平提高，NO<sub>x</sub>排放量明显降低，适当提高SOFA风量有利于降低污染物排放。

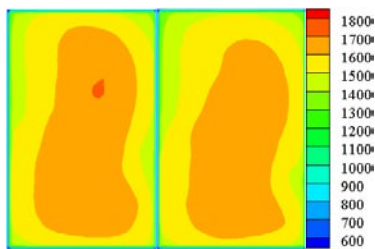
3.3 SOFA喷口摆角对烟温偏差的影响

锅炉4对SOFA喷口均可水平方向左右和竖直方向上下摆动15°，摆动方式决定其入射方向，对炉膛

内部烟气速度场产生有所作用,进而改变烟气温度场而对烟温偏差产生影响。图7和图8分别是SOFA喷口不同水平摆角工况下的下炉膛出口截面和炉膛出口烟窗截面温度场云图。结果显示,随着反切于二次风方向的水平摆角的增大,下炉膛出口截面中心高温区和炉膛出口烟窗截面左侧高温区均有所减小;炉膛出口烟窗截面平均温度、不均匀系数及煤粉燃尽率对比见表5,而工况6至工况14的NO<sub>x</sub>排放与工况1相差较小,均没有显示。可以看出,提高水平摆角,炉膛出口烟窗截面平均温度(FEST)降低,反切二次风水平摆动15°较不摆动(垂直水冷壁入射)下降约11℃;且炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数(M)降低,由工况1的12.35%下降至工况5的11.77%,说明增大水平反切摆角有利于降低锅炉烟温偏差,这是由于SOFA反切角度越大,对二次风的消旋作用越强,造成烟气进入屏式过热器区域流速更加均匀,水平烟道烟温偏差降低;而改变SOFA喷口水平摆角,煤粉燃尽率变化在0.2%以内,说明SOFA喷口反切角度对燃尽率的影响较小。

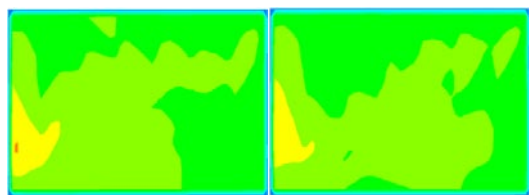


(a)工况1 (b)工况6

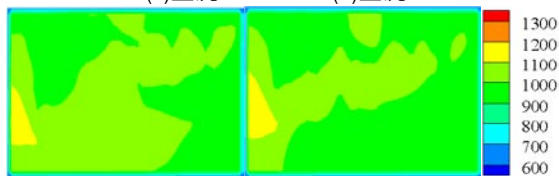


(c)工况7 (d)工况8

图7 P1温度场云图



(a)工况1 (b)工况6

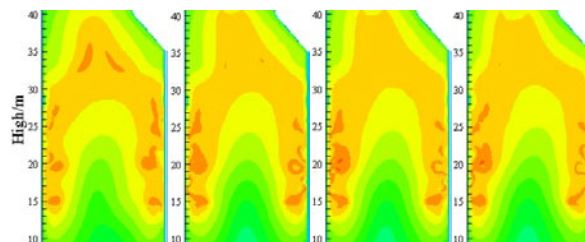


(c)工况7 (d)工况8

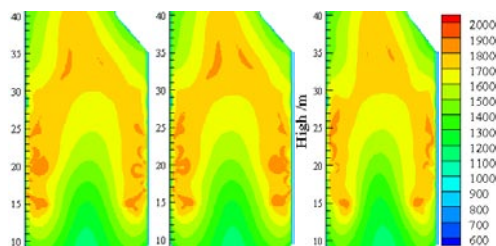
图8 P2截面的温度场云图

表5 FEST、M、煤粉燃尽率对比

| case | 水平摆角 | FEST  | 不均匀系数 | 燃尽率   |
|------|------|-------|-------|-------|
|      | °    | K     | %     | %     |
| 1    | 0    | 964.6 | 12.35 | 98.50 |
| 6    | 5    | 962.9 | 12.33 | 98.56 |
| 7    | 10   | 955.8 | 11.98 | 98.38 |
| 8    | 15   | 953.3 | 11.77 | 98.33 |

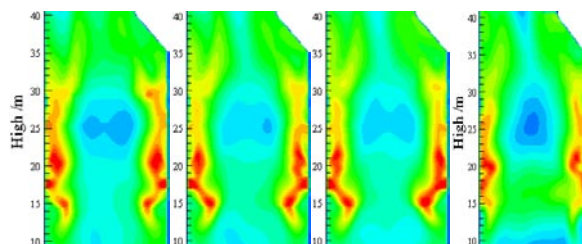


(a)工况9 (b)工况10 (c)工况11 (d)工况1

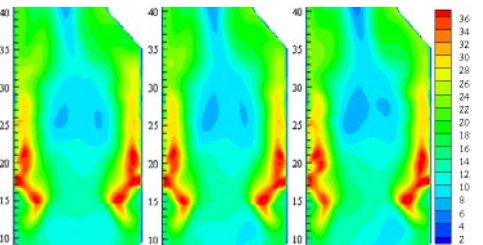


(e)工况12 (f)工况13 (g)工况14

图9 不同SOFA竖直摆角工况炉膛中心截面温度场云图



(a)工况9 (b)工况10 (c)工况11 (d)工况1



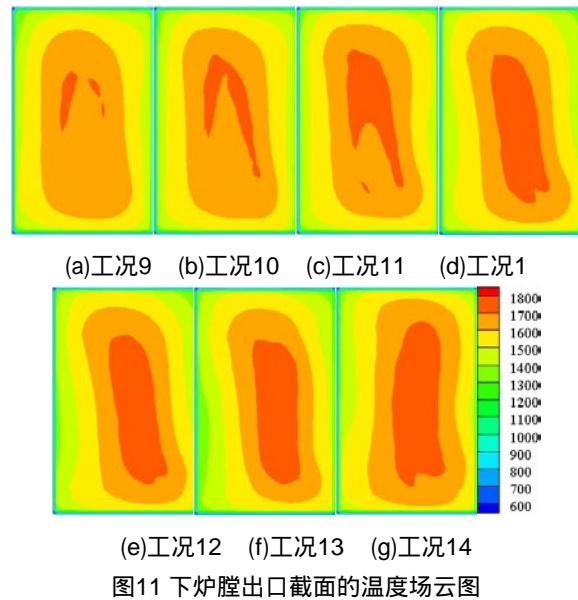
(e)工况12 (f)工况13 (g)工况14

图10 不同SOFA竖直摆角工况炉膛中心截面速度场云图

图9和图10分别是不同SOFA喷口竖直摆角工况下炉膛中心截面温度场和速度场云图。可以看出,随着向上摆动SOFA喷口,炉膛上部燃尽区高温区上移,且烟气向上分速度加大,造成烟气进入屏式过热器区域流速增加,烟气对炉膛上部屏式过热器和



再热器的冲击加大。图12是工况9-14与工况1（摆角为0°）的下炉膛出口截面平均温度（a）、炉膛出口烟窗截面平均温度（b）、炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数（c）和煤粉总燃尽率（d）的对比。结果显示，随着SOFA喷口的向上摆动，下炉膛出口截面平均温度和炉膛出口烟窗截面平均温度均有所增加，分别由工况9的1476.7K和947.9K上升至工况14的1489.0K和970.3K；炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数也由于喷口的上倾而加大，由工况9的12.08上升至工况14的12.61；SOFA喷口竖直摆角的增大造成煤粉燃尽区域上移，相当于加大了锅炉整体的空气分级水平，煤粉总的燃尽率下降，由工况9的98.68%降低至工况14的98.34%，约下降0.3%，降低幅度较小，说明SOFA喷口上摆对煤粉燃尽率的影响较小。整体说明，SOFA喷口竖直向下摆动有利于降低炉膛出口烟窗烟温偏差，而对锅炉燃尽效果影响较小。



#### 4. 结论

对1台660MW四角切圆燃烧锅炉，进行SOFA配风方式和喷口摆角对锅炉下炉膛出口和炉膛出口烟窗温度分布和温度不均匀系数影响的数值模拟研究，对比其对锅炉烟温偏差的影响。结果表明：

1. 通过现场试验数据的验证，表明该模型可较为合理地模拟锅炉燃烧特性的影响；
2. 增加SOFA风量，煤粉燃尽率降低，下炉膛出口截面烟温和炉膛出口烟窗截面温度上高，炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数减小，对减小炉膛出口烟温偏差产生正面作用，且SOFA风率增加有利于污染物NO<sub>x</sub>排放的降低；
3. 增大SOFA反切二次风方向的水平摆角，下炉膛出口截面中心高温区和炉膛出口烟窗截面左侧高温区均减小，有利于降低锅炉烟温偏差；向上摆动SOFA喷口，炉膛上部燃尽区的高温区上移，下炉膛出口截面平均温度和炉膛出口烟窗截面平均温度增加，炉膛出口烟窗截面温度不均匀系数加大，煤粉总的燃尽率下降但降低幅度较小，SOFA喷口向下摆动有利于降低烟温偏差。

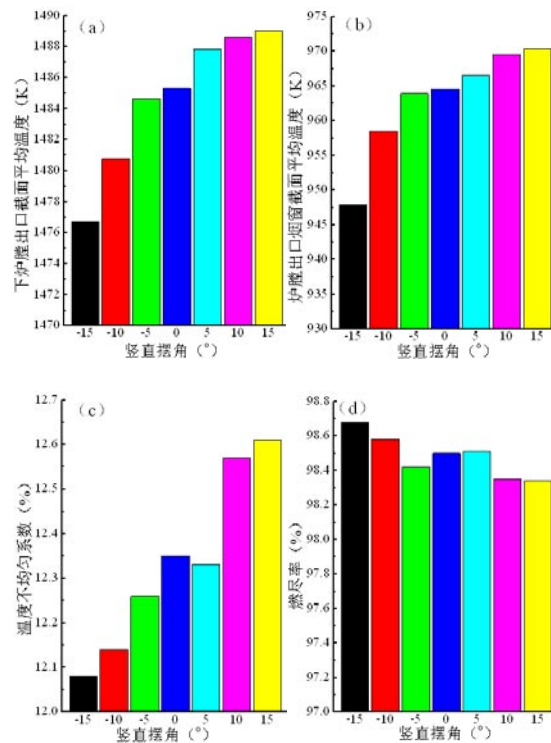


图12 炉膛出口烟窗截面平均温度、不均匀系数及煤粉燃尽率对比

#### 参考文献：

[1] 李文彦, 康志忠等. 600MW切圆燃烧锅炉的烟气偏差及控制技术的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(2): 163 - 166.

[2] 钱力庚, 樊建人等. 在不同工况下切圆燃烧锅炉炉内流体流动特性的研究[J]. 动力工程, 2002, 22(2): 1690 - 1696.

[3] S.R. Gubba, D.B. Ingham, etc. Numerical modelling of the co-firing of pulverised coal and straw in a 300 MWe tangentially-fired boiler[J]. Fuel Processing Technology, 2012, 104: 181 - 188.

[4] 刘泰生, 姚本荣, 许晋源. 切向燃烧锅炉水平烟道中烟速偏差成因的实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(1): 49 - 53.

- [5] 张泽, 徐旭常. 大型切向燃烧锅炉上炉膛屏区两相流场近流线数值模拟[J]. 燃烧科学与技术, 2002, 8(2).
- [6] 高小涛. 降低600MW机组锅炉炉膛出口烟温偏差的试验研究[J]. 中国电力, 2002, 35(8): 1-4
- [7] 杨红权, 李富春, 张妮乐, 等. 超临界锅炉屏区受热面高度方向吸热不均匀性的数值研究[J]. 动力工程学报, 2010, 30(12): 895 ~ 898.
- [8] 姜秀民, 崔志刚, 马玉峰, 等. 670t/h四角切圆锅炉反切消旋的数值模拟和工程实践[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(18): 109 ~ 115.
- [9] 池作和, 周吴, 夏建军, 等. 一次风反切系统的数值模拟和多相流动特性分析[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(2): 135 - 139.
- [10] Yin Chungeng, Rosendahl Lasse, Condra Thomas J. Further study of the gas temperature deviation in large-scale tangentially coal-fired boilers [J]. Fuel, 2003, 82(9): 1127 - 1137.
- [11] Launder B E, Spalding D B., The Numerical Computation of Turbulent Flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1974,3(2):269 - 289
- [12] Choi C R, Kim C N. Numerical investigation on the flow, combustion and NO<sub>x</sub> emission characteristics in a 5000MWe tangentially fired pulverized-coal boiler[J]. Fuel, 2009, 88(9):1720 - 1731
- [13] Díez L I, Cortes C, Pallares J. Numerical investigation of NO<sub>x</sub> emissions from a tangentially-fired utility boiler under conventional and overfire air operation[J]. Fuel, 2008(87):1259 - 1269
- [14] Lockwood F C, Shah N G., A New Radiation Solution Method for Incorporation in General Combustion Prediction Procedures [C]. Eighteenth Symposium (International) on Combustion, 1981, 18(1):1405 - 1414.
- [15] Hanson RK, Salimian S. Survey of rate constants in H/N/O systems [J]. Combustion Chemistry. WC Gardiner; 1984, 361
- [16] De Soete GG. Overall reaction rates of NO and N<sub>2</sub> formation from fuel nitrogen [C]. Fifteenth symposium (international) on combustion. The Combustion Institute; 1975, 1093 - 1102

## 要闻集锦

### 天河二号正在升级为94.97Pflops的天河2A

据www.top500.org网站2017年9月20日消息报道, 中国国防科技大学日前在广州召开的第三届国际高性能计算论坛 (IHPCF) 上公布了正在进行升级的天河二号, 该机升级后的名称为天河2A, 峰值性能将达到94.97Pflops, 几乎是升级前54.9Pflops的两倍。

令人瞩目的是, 天河2A将使用国防科技大学自主研发的Matrix-2000 GPDSP代替之前由美国英特尔公司生产的至强Phi“骑士转角 (Knights Corner)”加速器。根据会议幻灯片显示, Matrix-2000芯片配置4个超级节点 (SN), 每个SN上有8个簇 (cluster), 每个簇含有4个核, 共计128个核, 在1.2GHz工作频率下的峰值性能达到2.4576Tflops, 最大功率为240W; 接口采用8个

DDR4-2400通道和X16 PCIE 3.0 EP端口。

截止会议发布时, 天河2A并没有更换之前系统中使用的CPU, 仍然是英特尔至强处理器, 每个节点由2个至强处理器和2个Matrix-2000构成, 而节点总数则从16000个增加至17792个。系统共有199个机柜 (rack), 其中139个为计算机柜, 24个为通信机柜, 36个为IO机柜。多层胖树结构的互连系统性能提高了40%, 达到14Gbps, 对分带宽为161TB/s, 而延迟则降低了一半, 为1 $\mu$ s。主存从1.4 PB增加至3.4 PB, 外存从12.4PB增加至19PB。系统功耗约为18MW, 能效比超过5Gflops/W (在当前Green500中可排20名左右)。

(柯庆)