

负荷与燃尽风对 NO 影响的数值模拟

高正阳, 崔伟春, 杨毅栋, 宋 玮

(华北电力大学 能源与动力工程学院, 河北 保定 071003)

摘要:为研究负荷与燃尽风对 NO 排放的协同作用规律, 对一台 1 025 t/h 煤粉锅炉的燃烧过程进行了数值模拟, 分析了不同负荷下, 投运、停运燃尽风时炉内的温度、热力型 NO 与燃料型 NO 的分布特性, 将计算结果与实测结果进行了对比, 结果表明, 对于所研究的锅炉, 燃尽风可更有效控制燃料型 NO 的排放, 而且在 100% 负荷下效果更显著。在 80% 负荷下, 燃尽风还可降低热力型 NO 排放; 在 100% 负荷时, 燃尽风的投入对炉内 O₂、CO 影响显著; 在 80% 负荷时, 燃尽风对温度场影响更显著。

关键词:煤粉锅炉; 负荷; 燃尽风; 数值模拟; 氮氧化物

中图分类号: TQ038.1 文献标识码: A

引言

煤粉锅炉燃烧过程中所生成的 NO 主要为燃料型 NO 和热力型 NO, 控制各种类型 NO 的产生与排放是我国电力生产的基本政策。燃尽风技术(OFA)是目前国内使用最为普遍的低 NO 燃烧技术^[1-2]。但在实际运行中, 燃尽风技术对 NO 的控制效果受到负荷、燃尽风喷入位置、燃尽风率和煤质等诸多因素的影响, 即使两台炉型、燃烧器结构和煤质相同的锅炉 NO 排放也会相差很大。由于燃尽风是与负荷等因素协同作用, 探讨负荷与燃尽风对 NO 排放的协同作用规律, 不仅对进一步丰富 NO 排放理论具有重要的意义, 对实际生产过程也具有重要的指导作用。

对于实际锅炉, 由于无法识别已生成 NO 中 N 的来源, 对炉内不同类型 NO 的生成进行对比研究十分困难。数值模拟是研究电站锅炉燃烧的有效方法^[3-6], 对锅炉内 NO 排放进行数值模拟已经具有相当的准确性^[7-9], 而且在计算当中通过打开或关闭不同类型 NO 的计算模型, 可以得到不同类型 NO 的生成规律。本文就是利用数值模拟技术, 对一台

采用燃尽风技术的 300 MW 机组四角切圆锅炉进行研究, 分析负荷与燃尽风对不同类型 NO 生成的协同作用规律, 并将计算结果与实测结果进行了比较。

1 模拟对象

本文模拟额定蒸发量为 1 025 t/h 的锅炉, 燃烧系统采用传统的切向燃烧, 燃烧设备采用正四角布置摆动式直流喷嘴, 煤喷嘴沿高度方向分五层布置, 顶部独立布置有燃尽风风口。锅炉的总体外型结构和燃烧器各层喷口布置情况如图 1 所示, 炉宽 14 059 mm。制粉系统为直吹式, 有 5 台 R_p 型中速磨, 每台磨出口气粉分别送至锅炉四角同一层煤粉喷嘴。

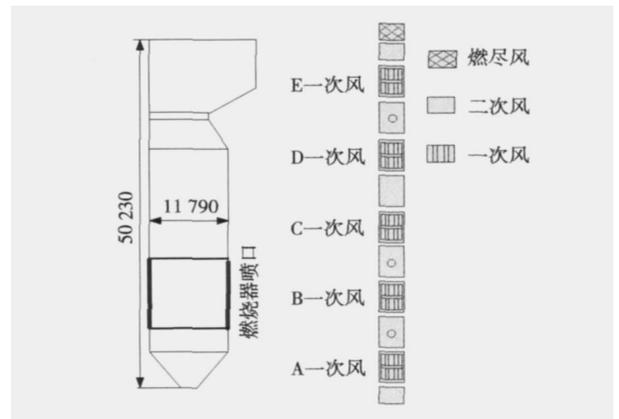


图 1 锅炉总体结构和燃烧器结构

本文所计算两个负荷下, 电厂实际运行均投入下四层煤粉喷嘴, 锅炉燃用煤种的元素分析及煤粉细度如表 1 所示。根据实际运行参数, 该锅炉在运行中 80% 负荷与 100% 负荷过量空气系数分别为 1.19 与 1.15, 两个负荷下燃尽风占总风量的比例是相同的, 均为 10%。

表 1 燃用煤质分析及煤粉细度

| | | 数值 |
|------------|-------------|-------------------------|
| 煤质分析 | $C_{ar}/\%$ | 50.855 |
| | $H_{ar}/\%$ | 3.384 |
| | $O_{ar}/\%$ | 5.773 |
| | $N_{ar}/\%$ | 0.883 |
| | $S_{ar}/\%$ | 2.027 |
| | $A_{ar}/\%$ | 27.593 |
| | $M_{ar}/\%$ | 8.6 |
| | $V_{ar}/\%$ | 24.646 |
| | 煤粉细度 | LHV/ $MJ \cdot kg^{-1}$ |
| R90/ $\%$ | | 27 |
| R200/ $\%$ | | 2 |

2 数学模型及初始条件确定

2.1 数学模型

以 TASCFLOW 软件为平台, 采用三维稳态计算, 对锅炉炉内燃烧和 NO_x 生成进行了数值模拟。网格采用结构化网格, 使用 ICEM 软件划分, 生成的网格如图 2 所示。气相湍流流动采用标准 $k-\epsilon$ 双方程模型, 燃烧反应采用多步涡团耗散模型, 颗粒项采用拉格朗日颗粒轨道模型, 辐射传热采用 Diffusion 模型, 收敛标准为残差小于 10^{-4} 。

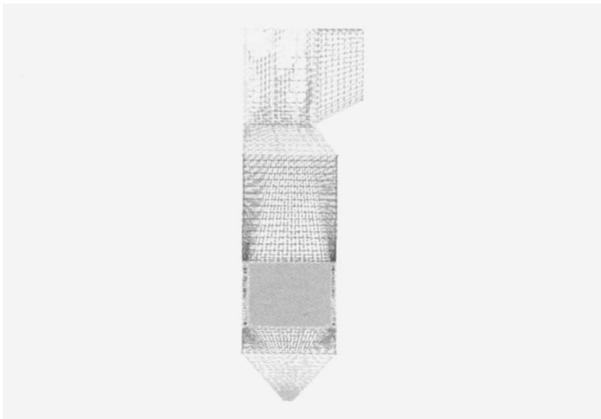


图 2 计算区域网格

2.2 NO 计算模型

计算采用的 NO 反应机理如图 3 所示, 其中反应 1、2 为燃料 N 的释放反应, 3、4、5 为 NO 生成反应, 6、7、8 为 NO 还原反应。

燃料型 NO 是由燃料 N 生成的, 燃料 N 在煤粉颗粒升温热解过程中, 一部分成为挥发分 N 随挥发分释放, 直接生成 HCN (反应 1), 一部分成为焦炭 N 随煤焦燃烧释放, 直接生成 NH_3 (反应 2), HCN 氧化生成 NH_3 (反应 3), NH_3 若被氧化生成 NO (反应 4),

N_2 可直接氧化为热力型 NO (反应 5), 已生成的 NO 可通过反应 6、7、8 分别与 CH_4 , NH_3 和煤焦反应, 被还原成为 N_2 。

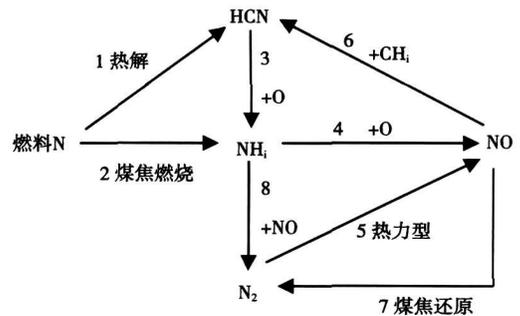


图 3 NO 反应机理

根据图 3 反应机理, 热力型 NO 和燃料型 NO 的生成基本不会相互影响。但是 NO 的还原途径对于热力型 NO 和燃料型 NO 却是一致的, 这将导致如下问题: 若分别计算燃烧过程生成的热力型 NO 和燃料型 NO, 然后将二者相加得到的总 NO 排放与同时计算两种 NO 得到的总 NO 排放不相等, 本文对此也进行了讨论。

2.3 入口条件与计算工况

由于所研究锅炉主要在 80% 和 100% 两种负荷下运行, 因此本文主要进行这两种负荷下的数值模拟, 共进行了 4 种工况下的计算: 工况 1 为 100% 额定负荷并投燃尽风, 工况 2 为 100% 额定负荷未投燃尽风; 工况 3 为 80% 额定负荷且投燃尽风; 工况 4 为 80% 额定负荷未投燃尽风。工况 1、3 为实际运行工况, 入口条件采用实际运行参数, 工况 2、4 则是分别将工况 1、3 的燃尽风平均分配给各二次风口。

3 模拟结果及分析

3.1 炉内温度分布规律

温度是影响 NO 生成的一个关键因素, 图 4 为不同工况下沿炉高 (用 H 表示) 方向不同水平截面平均温度分布曲线。图中曲线表明, 在各燃烧工况下, 炉内温度沿炉高的分布在趋势上是一致的, 总体上为先上升后下降的形式。在燃烧器区炉内温度迅速上升, 但是炉内水平截面平均温度的最高值则不在燃烧器区内, 而是比燃烧器区高出 4 m, 这主要是由于煤粉和空气从喷口送入炉膛后, 向上方流动造成。在燃烧器区, 一次风口与二次风口间隔布置, 煤粉与空气间隔送入, 导致高温区内温度曲线出现锯齿型分布特性。

4 种工况下, 温度峰值分别为 1 633 K、1 672 K、1 568 K 和 1 638 K。总体上, 投燃尽风时, 炉内的温度水平比不投燃尽风时低, 这与文献 [2] 的研究是一致的。原因在于所谓燃尽风是减少燃烧区投入的风量, 抑制燃料型 NO 的生成, 将燃烧器区少投入的二次风作为上火风在火焰上方投入, 以确保煤粉的燃尽, 这就导致煤粉燃烧速率下降, 火焰温度降低。

图 4 中曲线反映出 80% 负荷下炉内温度水平比 100% 负荷低。4 个工况下, 80% 负荷下有燃尽风时炉内温度水平达最低; 80% 负荷下燃尽风对炉温的影响则比 100% 负荷更显著一些。工况 3、4 的炉内温差最大为 70 K, 这是由于在低负荷下炉内温度水平比高负荷炉内温度稍低, 煤粉燃烧速率下降, 投入燃尽风后使炉内温度进一步降低, 煤粉燃烧速率进一步下降, 造成炉温下降显著。图 4 中 80% 负荷两种工况下温度曲线到炉膛出口处已很接近, 这一方面是由于高温曲线对应的炉膛内辐射放热多, 造成温降速率大; 另一方面是由于低温曲线对应的煤粉燃烧速率低, 在煤粉颗粒在运动过程中维持燃烧的时间相对长, 也造成温降慢。此外, 计算得到工况 1、2、3、4 对应飞灰含碳量分别为 5.57%、4.8%、8.62% 和 6.2%, 工况 3 飞灰含碳最高, 表明工况 3 煤粉燃烧相对不充分, 这也表明该工况煤粉燃烧速率比其它工况低。但本研究锅炉上炉膛空间较大, 煤粉在炉膛内有比较充足的停留时间, 因此工况 3 的飞灰含碳与其它工况相比并没有很大幅度的升高。

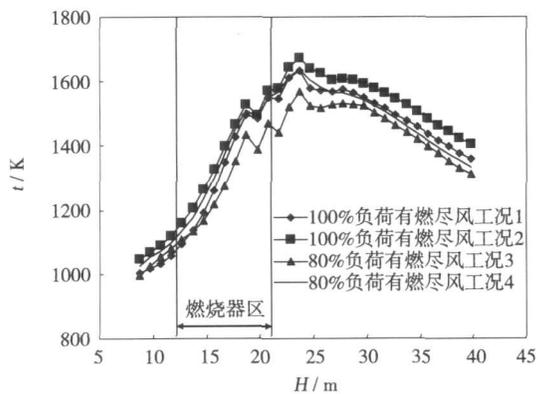


图 4 沿炉膛高度温度分布曲线

3.2 炉内氧分布规律

图 5、图 6 为不同运行工况下, 沿炉高方向上不同炉膛横截面处截面平均氧浓度 (用 C_{O_2} 表示) 曲线。图中曲线表明, 不论是 100% 负荷还是 80% 负荷, 在低于 26 m 的范围内, 有燃尽风时, 炉膛截面平均氧浓度比无燃尽风时低。沿着烟气流动方向, 有、

无燃尽风两种情况下的氧浓度差越靠近炉膛上部就越小。对比图 5 和图 6 曲线可以发现, 负荷不同时, 投入燃尽风对炉内氧浓度的影响程度不同, 在 100% 负荷下, 在氧浓度剧烈波动的区域, 有、无燃尽风, 炉内平均氧浓度值差为 1.19%, 但在 80% 负荷下, 在氧浓度剧烈波动的区域, 炉内平均氧浓度值差为 1.05%。可见对于本文所计算锅炉在 100% 负荷下燃尽风对氧浓度的影响更加显著。

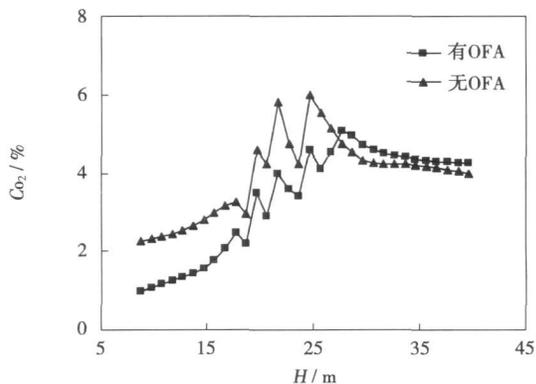


图 5 100% 负荷炉高方向氧浓度分布

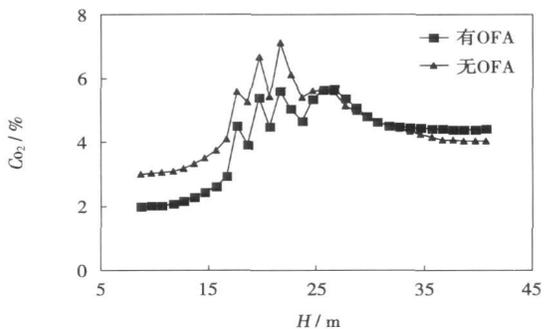


图 6 80% 负荷炉高方向氧浓度分布

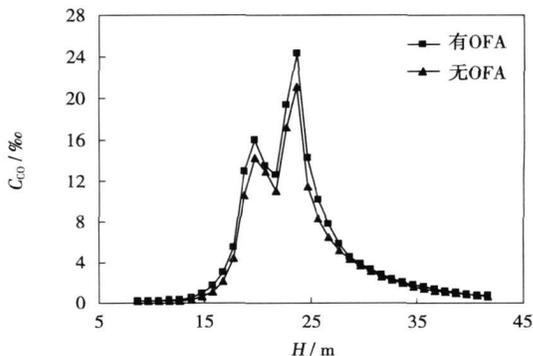


图 7 100% 负荷炉高方向 CO 浓度分布

图 7、图 8 为不同运行工况下, 沿炉高方向上不同炉膛横截面处截面平均一氧化碳浓度(用 C_{CO} 表示)曲线。在不同工况下, CO 曲线沿炉高在总体上均为先上升后下降的趋势。100% 负荷下, 燃尽风的投入对 CO 的影响比负荷 80% 下显著, 这与前面分析的燃尽风对氧浓度的影响规律是一致的。

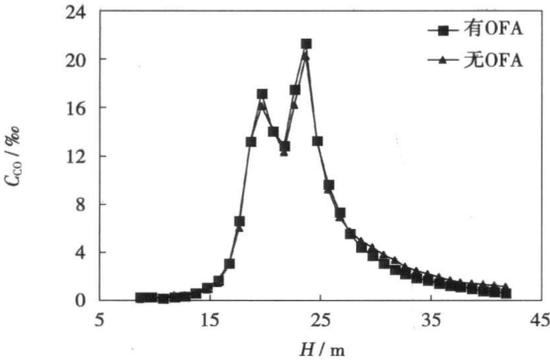


图 8 80% 负荷炉高方向 CO 浓度分布

3.3 NO 浓度分布

不同工况下, 沿炉高方向上炉膛水平横截面平均 NO 浓度曲线如图 9、图 10 所示。图中曲线显示出, 不论在 100% 负荷还是 80% 负荷, 炉内生成的 NO 以燃料型为主, 在所计算的工况下, 炉膛出口处燃料型 NO 浓度约为热力型的 3~4 倍, 燃料型 NO 占到总 NO 排放的 75% 以上。4 种工况下燃料型 NO 排放浓度由高到低依次是工况 2 (430 mg/m^3), 工况 4 (409 mg/m^3), 工况 3 (332 mg/m^3), 工况 1 (326 mg/m^3); 热力型 NO 浓度由高到低依次是工况 2 (116 mg/m^3), 工况 1 (114 mg/m^3), 工况 4 (83 mg/m^3), 工况 3 (40 mg/m^3)。

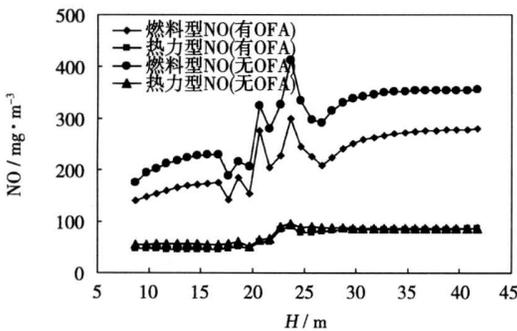


图 9 100% 负荷下炉高方向 NO 浓度分布

3.3.1 热力型 NO 的生成特性

从图 9、图 10 中曲线可以看出热力型 NO 近似呈阶跃型分布。在炉膛高度 18 m 以下, 炉内的热力

型 NO 浓度很低, 而且炉膛水平截面平均热力型 NO 在不同炉高处浓度基本一样。这是由于在 18 m 以下区域, 各工况下炉膛横截面平均温度均小于 1 400 K 如图 4 所示。而根据热力型 NO 生成机理可知, 在温度小于 1 400 K 时, 热力型 NO 生成速率低。图 4 中曲线显示出在 19~23 m 的区域内, 炉内烟温达到最大, 热力型 NO 曲线在这一高度范围内上升, 此后, 热力型 NO 浓度也就不再有明显变化。热力型 NO 的生成主要决定于温度, 在 23 m 以上的区域, 炉内温度仍然是比较高的, 热力型 NO 应表现出生成浓度不断上升的趋势。但计算结果却表明热力型 NO 浓度不再有显著变化, 其原因在于, 计算中 NO 还原模型是一直打开的, 因此计算得到的 NO 浓度是热力型 NO 生成与还原的综合结果, 在 23 m 以上, 虽然热力型 NO 可能还在继续生成, 但氧浓度较低, 且热力型 NO 本身生成速率比较低, 生成的 NO 还在不断被还原, 可能形成热力型 NO 生成与还原速率相差不多, 导致热力型 NO 在 23 m 以上区域浓度变化不大, 这样, 炉内的热力型 NO 沿炉高表现出近似阶跃型的分布特性, 仅在炉膛高度方向约为 4 m 范围内有显著的增长。

图中曲线表明, 对于所计算的锅炉, 投入燃尽风时热力型 NO 比不投入燃尽风时少, 说明燃尽风的投入也可起到降低热力型 NO 排放的作用。其原因在于投入燃尽风使炉内温度降低。图 9 曲线表明在 100% 负荷下, 有、无燃尽风对热力型 NO 的生成影响并不显著。这是因为在 100% 负荷下, 有、无燃尽风对炉内温度分布影响不大, 如图 4 所示; 但在 80% 负荷下, 有、无燃尽风对炉温影响相对显著, 根据图 10 中热力型 NO 曲线, 投入燃尽风条件下, 热力型 NO 生成比不投入燃尽风时低 55%。

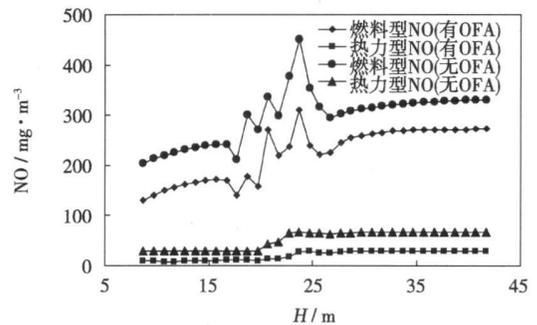


图 10 80% 负荷下炉高方向 NO 浓度分布

3.3.2 燃料型 NO 的生成特性

图 9、图 10 中燃料型 NO 浓度曲线比热力型 NO 生

成曲线明显复杂,根据燃料型 NO 曲线形状,可将锅炉沿高度方向分成炉膛底部(高度小于 18 m)、燃烧器影响区(高度在 18~28 m)和炉膛上部(高度>28 m)3 个区段,其中炉膛底部和炉膛上部为燃料型 NO 浓度缓慢变化区,燃烧器影响区则为燃料型 NO 浓度强烈变化区,燃烧器影响区位置比燃烧器真实位置高。

在炉膛底部,烟气中有一定浓度的燃料型 NO 生成,这是由两方面因素导致的:一是燃烧器区生成的 NO 随烟气流动或在浓度差作用下向炉膛下部扩散;二是在这一区域内燃料型 NO 的生成。由于燃料型 NO 中的 N 源于燃料 N,有一定数量的煤粉颗粒在炉膛底部通过是燃料型 NO 生成的前提条件,图 11 为炉内煤粉颗粒轨迹图。由图 11 颗粒轨迹图可以看出,从前墙右侧 A 一次风口(最底层)喷入的颗粒一部分会向下运动到炉膛最下部,从 D 一次风口(上层)送入的煤粉颗粒则基本向上运动。在炉膛下部,确实有煤粉颗粒经过,这些煤粉颗粒在炉膛下部会释放出燃料 N。四角切圆锅炉内煤粉颗粒在进入炉膛后理想的运动方式是以螺旋线方式向上运动,但本文计算锅炉下炉膛却有一定量的煤粉颗粒,这是由于该锅炉主要投入下四层煤粉喷口运行,最下层煤粉风口下只有一层二次风喷口,这造成炉膛最下部二次风量有限,不能有效向上拖起煤粉颗粒。可见本文所研究锅炉燃烧器最下层二次风口风量有所不足,不能完全阻止煤粉颗粒向炉膛底部运动。而图 5 和图 6 中的氧分布曲线则表明在炉膛下部烟气中含有一定的氧量,这些为燃料型 NO 的生成创造了条件。

在燃烧器影响区,燃料型 NO 的浓度波动大,原因是大量煤粉颗粒随一次风送入到这一区段并燃烧。由于一、二次风口间隔布置,从一次风口随煤粉颗粒送入的燃料 N 从煤粉颗粒中释放后,再与一次风及相临二次风口送入的二次风掺混、稀释,还可能被从其它一次风口送入的燃料 N 还原,造成燃料型 NO 浓度沿高度方向出现锯齿型的变化。图 5、图 6 和图 9、图 10 曲线显示出:在有、无燃尽风两种条件下,100%负荷时这一区域氧浓度差最大,燃料型 NO 的生成量差异也最大。

在上炉膛区,不再有煤粉颗粒及空气送入,由于燃料 N 中挥发分 N 随挥发分的释放速率而增高,在燃烧器影响区基本释放完全,而燃料 N 中焦碳 N 的释放相对缓慢,可以认为焦碳 N 的释放是随煤焦中 C 的释放按比例释放。因此,在上炉膛区域内,由于仅有焦碳 N 释放,而焦碳 N 的释放速率较低,燃料

型 NO 的生成也是缓慢的,NO 浓度随高度的变化也比较平缓。

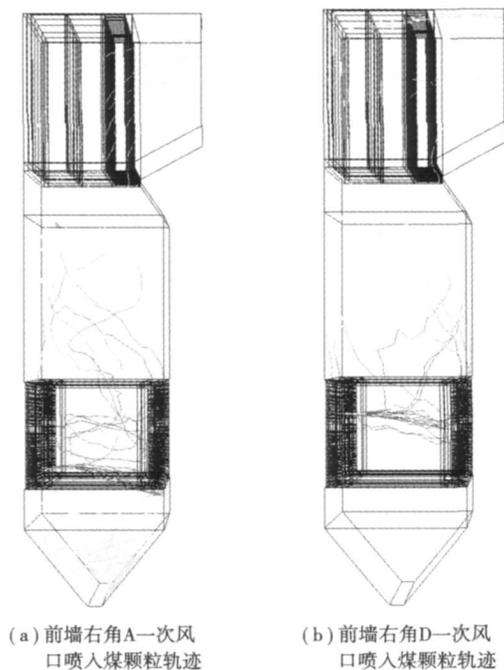


图 11 100% 负荷下颗粒轨迹

总的来说,燃尽风的投入可使燃料型 NO 的排放显著下降,100%负荷时下降 24%,80%负荷时下降 18.7%。100%负荷下 NO 下降幅度相对显著,这是由于燃尽风的投入效果决定于炉内 NO 的初始浓度及燃尽风率,而本文所计算的锅炉 NO 含量相对而言并不是很高,这就造成低 NO 燃烧技术投入的效果受到影响。

计算是针对该锅炉实际运行工况进行的,燃尽风率改变会对 NO 排放有影响,对 NO 排放随燃尽风率变化的敏感性进行分析具有重要的意义,对此还需进一步研究的工作。

3.4 不同 NO 计算方法结果与实测结果比较

为了验证计算模型的准确性,计算结果与实测结果对比如表 2 所示。由于实际燃烧过程中不同类型 NO 是同时生成的,测量在工况 3(80%负荷时有燃尽风)条件下进行的,因此验证计算中将不同类型 NO 模型同步计算。通过比较可以看出,80%负荷下,NO 同时计算的结果与实测值相差 5.5%。对于飞灰含碳量,计算值比实测结果大,但二者在量级上还是一致的。计算与实测结果均表明负荷降低飞灰含碳有所增加,但计算结果中飞灰随负荷的降低而增加更明显。从表 2 中数据可以看出,计算结果与实测结果间确有误差,但可接受,表明计算采用模

型以及边界条件和入口条件是合理的。

表2 计算结果与实测比较

| | 实测值 | | 计算值 | | 计算误差 | |
|-----------------------------------|-----|---------|-----|------|------|------|
| | 工况1 | 工况3 | 工况1 | 工况3 | 工况1 | 工况3 |
| NO/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ | — | 343 | 390 | 324 | — | 5.5% |
| 飞灰含碳/% | 3~4 | 4.5~5.5 | 5.2 | 8.62 | — | — |

为分析不同类型NO的生成特性,在运算中对热力型NO和燃料型NO分别进行运算。由于炉内不仅有NO的生成反应也有NO被还原消减的反应,若仅对某一种NO进行计算,由于得到的NO浓度比将各种类型NO同步计算得到的NO浓度低,计算中通过还原途径被还原的NO量也偏低,将分别计算得到热力型NO和燃料型NO相加得到的总NO会偏高。图12为80%负荷有燃尽风条件下,不同计算方法下得到的总NO浓度比较,从图中曲线可以看出,将两种NO分别计算再相加得到的总NO浓度比两种NO同时计算得到的NO浓度高,但二者十分接近,这是由于在炉内生成的NO以燃料型为主,热力型所占比例小,这样两种NO同时计算与单独计算一种NO差别不会显著。可以想见,若两种NO生成量相近,单独计算时,由于计算过程NO浓度比不同NO同时计算浓度低,造成计算得到NO还原速率底,最终将导致分别计算得到结果相加值比同时计算值高的情况。对于本文所研究锅炉,由于热力型NO浓度明显小于燃料型NO,利用将不同类型NO分别计算得到的结果,分析不同类型NO随负荷与燃尽风的变化规律在定性和定量上均是合理的。

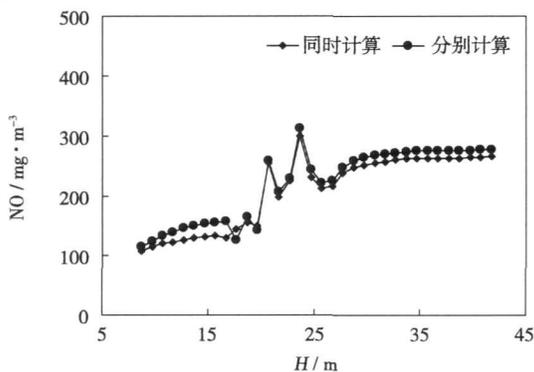


图12 80%负荷不同计算方法结果比较

4 结论

本文采用数值模拟技术,研究了负荷与燃尽风

对炉内不同类型NO生成的协同作用规律,对于所研究的锅炉,得到以下结论:

(1) 炉内温度沿炉高的分布总体上为先上升后下降的趋势。炉内水平截面平均温度的最高值不在燃烧器区内,而是比燃烧器区高出4 m。

(2) 投燃尽风使炉内的温度水平下降,在100%负荷下,投燃尽风对炉温影响不大。在80%负荷下,投入燃尽风可使炉内温度变化最大达70 K。

(3) 100%负荷下,有、无燃尽风,沿炉高方向不同截面平均氧浓度差比80%负荷大。

(4) 热力型NO沿炉高方向表现为阶跃型分布,仅在炉膛高度方向约为4 m范围内有显著的增长。在80%负荷下,燃尽风的投入可降低热力型NO排放。有、无燃尽风,热力型NO生成相差55%。

(5) 燃尽风的投入可使燃料型NO的排放显著下降,但负荷不同燃尽风效果也不同,100%负荷时燃料型NO下降24%,80%负荷时下降18.7%。

(6) 计算得到NO排放与实测值在80%负荷下相差5.5%,计算得到飞灰含碳与实测值很接近,表明计算采用模型以及边界条件和入口条件是合理的。

(7) 对于本文所研究锅炉,由于热力型NO浓度明显小于燃料型NO,利用将不同类型NO分别计算得到的结果,分析不同类型NO随负荷与燃尽风的变化规律在定性和定量上均是合理的。

参考文献:

- [1] 王恩禄,张海燕,罗永浩,等.低NO燃烧技术及其在我国燃煤电站锅炉中的应用[J].动力工程,2004,(1):23-28
- [2] 刘泰生,周武,叶恩清.燃尽风对炉内流动和燃烧过程影响的数值模拟[J].动力工程,2006,26(1):116-120
- [3] 安恩科,于娟,朱基木,等.低NO_x燃烧器与常规直流煤粉燃烧器的NO_x生成特性的研究[J].动力工程,2006,26(6):784-789
- [4] 申春梅,孙锐,吴少华.1 GW单炉膛双切圆炉内煤粉燃烧过程的数值模拟[J].中国电机工程学报,2006,26(15):51-57
- [5] 潘维,池作和,斯东波.200 MW四角切圆燃烧锅炉改造工况数值模拟[J].中国电机工程学报,2005,25(8):110-115
- [6] 周武,庄正宁,刘泰生.切向燃烧锅炉炉膛结渣问题的研究[J].中国电机工程学报,2005,25(4):131-135
- [7] 吕清刚,雍玉梅,那永洁.循环流化床燃煤锅炉的SO₂和NO_x排放的试验和数值计算[J].中国电机工程学报,2005,25(1):142-146
- [8] 李永华,陈鸿伟,刘吉臻,等.煤粉燃烧排放特性数值模拟[J].中国电机工程学报,2003,23(3):166-169
- [9] 李芳芹,魏郭崧,马京程,等.燃煤锅炉空气分级燃烧降低NO排放的数值模拟[J].燃料化学学报,2004,32(5):537-541

(编辑 伟)

China, Post Code: 110034)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 313 ~ 319

By using the proven commercial software Themoflex, a simulation was performed of an IGCC (integrated gasification combined cycle) demonstration unit rated at 200 MW, which is to be built in China. A mass and heat balance calculation of the unit was also conducted. By adopting an IGV (inlet guide vane) regulation mode during a load reduction featuring a constant T3 (temperature before a steam turbine), which is currently often used by combined cycle gas turbines, the authors have first analyzed the changes of T3, T4 (exhaust gas temperature) and QGe (gas turbine exhaust gas flow rate) caused by gas turbine off-design operating conditions under the present control mode and then calculated the influence of the change of T3, T4 and QGe on the efficiency, power output, fuel consumption of the system as well as on the main parameters at the steam side. As a result, the off-design characteristics of the IGCC system and a general law governing the change of its main parameters were obtained. A requisite analysis of the safety and cost-effectiveness of the system operating under off-design conditions was performed. It has been found that the regulation modes can directly affect the off-design performance of the IGCC system. To ensure the cost-effectiveness and safety of the IGCC system when it is operating under off-design conditions, the gas turbine should be controlled as much as possible within the IGV regulation limits. **Key words:** integrated gasification combined cycle (IGCC), gas turbine, load variation, off-design condition performance

F-T 燃料/电联产系统集成特性分析 = **An Analysis of the Integrated Characteristics of a F-T (Fischer-Tropsch) Fuel/Electricity Cogeneration System** [刊, 汉] / YUE Chen, SHI Yi-xiang, CAI Ning-sheng (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Sciences and Power Engineering, Thermal Energy Engineering Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 320 ~ 325

Established was a model for coal gasifiers, F-T (Fischer-Tropsch) synthetic reactors and power generation units. A thermodynamic performance calculation was conducted of a coal-gasification-based pure IGCC (integrated gasification combined cycle) power generation system, a F-T fuel synthetic system and a F-T fuel/electricity cogeneration system, and the integrated characteristics of the F-T fuel/electricity cogeneration system were analyzed. The results of the analysis indicate that the F-T fuel/electricity cogeneration system can improve the stepped utilization of thermal energy by decreasing the averaged heat-exchange temperature difference in a waste heat boiler, thus enhancing the energy utilization of the cogeneration system. The F-T synthetic unit in the tail gas circulation process has been simplified, facilitating the pressure matching between the gasification unit and the power generation unit and also effectively expanding the regulation range of the chemical/electricity ratio up to 2.3. **Key words:** coal gasification, fuel/electricity cogeneration system, Fischer-Tropsch synthesis, power generation unit, integrated characteristics

负荷与燃尽风对 NO 影响的数值模拟 = **Numerical Simulation of the Influence of Loads and Burn-out Air Flow on Nitrogen Oxide** [刊, 汉] / GAO Zheng-yang, CUI Wei-chun, YANG Yi-li, SONG Wei (College of Energy Source and Power Engineering, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 326 ~ 331

To study the concerted action regularity of loads and burn-out air flow on NO emissions, a numerical simulation was performed of the combustion process of a 1025 t/h pulverized coal boiler. The distribution characteristics of the in-furnace temperature, thermodynamic type NO and fuel type NO were analyzed under different operating conditions when the burn-out air flow was put into use and disused. The calculation results were compared with the actual measured ones. The research results show that for the boiler under investigation, the burn-out air flow can more effectively control the emissions of fuel type NO, and at 100% load, the effectiveness is more conspicuous. At 80% load, the burn-out air flow can also reduce the NO emissions of the thermodynamic type. At 100% load, the burn-out air feed has a notable influence on the O₂ and CO in the furnace, while at 80% load, the burn-out air flow exercises a more conspicuous influence on the temperature field. **Key words:** pulverized coal boiler, load, burn-out air flow, numerical simulation, nitrogen oxide

空气物理参数对电厂风量测量的影响 = **Influence of Physical Parameters of Air on Power Plant Air Flow Measurement** [刊, 汉] / QIN Le, LI Ming-liang, ZI Yun-jiang, YAN Zheng-bo (Electric Power Research Institute, Yunnan