

# 气体燃料再燃对 $\text{NO}_x$ 还原的影响

(清华大学工程力学系) 钟北京 傅维标

**摘要:** 气体燃料再燃是研究较多的降低烟气中  $\text{NO}_x$  含量最有效的方法之一。本文以典型的一次燃烧区烟气成分为模拟烟气, 研究了不同的气体燃料( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$  和  $\text{C}_2\text{H}_4$ )作为再燃燃料时, 再燃区燃烧工况(空气过量系数和再燃温度)对  $\text{NO}_x$  再燃过程和  $\text{NO}_x$  还原率的影响。通过计算发现, 不同组分的气体燃料、再燃区空气过量系数及再燃区温度对  $\text{NO}_x$  的再燃过程和  $\text{NO}_x$  还原率都有重要的影响。

**关键词:** 燃料再燃; 气体燃料;  $\text{NO}_x$  还原

中图分类号: TK16 '0643.21

## 1 引言

自从1983年三菱重工利用再燃技术成功降低烟气中  $\text{NO}_x$  排放以后<sup>[1]</sup>, 燃料再燃就成为降低  $\text{NO}_x$  排放的诸多炉内方法中最有效的措施之一。许多研究表明, 燃料再燃可使  $\text{NO}_x$  的排放量降低50%以上<sup>[2]</sup>。在研究中发现, 再燃燃料的种类对  $\text{NO}_x$  的再燃率有重要的影响。在已有的报道中, 气体燃料(尤其是天然气)是被认为最好、因而被采用最多的再燃燃料之一。 $\text{NO}_x$  的再燃机理是燃料分解出来的碳氢基( $\text{CH}_i$ )与  $\text{NO}_x$  反应, 从而使  $\text{NO}_x$  还原成  $\text{N}_2$ 。虽然稍后也有煤或煤焦作为再燃燃料的报道<sup>[3]</sup>, 但研究气体燃料作为再燃燃料是最为简单的, 而且气体燃料也可以模拟煤作为再燃燃料时挥发份对  $\text{NO}_x$  的均相反应。本文通过化学反应动力学模型的计算, 研究了不同气体燃料和再燃区的燃烧工况(如温度和空气过量系数)对烟气中  $\text{NO}_x$  的再燃过程和  $\text{NO}_x$  还原率的影响。

## 2 计算模型简介

燃料再燃又称燃料分级, 实际上是把炉内燃烧

过程沿炉膛高度分为如下三个不同的燃烧区(如图1所示)。第一燃烧区: 这是主燃烧区, 约有80%的燃烧在该区燃烧, 其空气过量系数大于1.0。由于该区氧气充足, 火焰温度较高, 因此将形成较多的  $\text{NO}_x$ 。此外, 如果在该区没有足够的停留时间, 将有一定的未完全燃烧产物与  $\text{NO}_x$  一起进入再燃区。第二燃烧区: 这是再燃区, 再燃燃料在空气不足条件下喷射到第一燃烧区的下游, 形成碳氢基( $\text{CH}_i$ ), 从而使来自第一燃烧区的  $\text{NO}_x$  还原。第三燃烧区: 这是燃尽区, 在该区加入空气, 形成富氧燃烧区, 使所有的未完全燃烧产物燃尽。

本文计算的物理对象是第二燃烧区, 即再燃区。

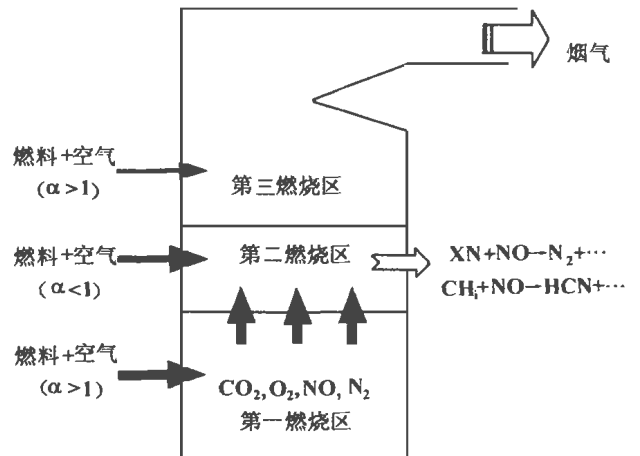


图1 再燃过程示意图

来自第一燃烧区的模拟烟气成分为:  $\text{CO}_2=16.8\%$ ,  $\text{O}_2=1.95\%$ ,  $\text{NO}=0.1\%$ 和平衡气体  $\text{N}_2$ 。计算中选择了低分子量的烃类燃料作为再燃燃料, 它们分别是:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ 。通过计算分析, 研究了所选择的三种气体燃料在不同的再燃工况下对  $\text{NO}_x$  还原率的影响。计算中使用了在文献[4]中进行过详细讨论的化学反应动力学模型, 该模型包含30种组分的118个可逆反应(附录A)。计算中使用的再燃区

空气过量系数为 0.2~1.0, 再燃区温度为 1100℃~1300℃。

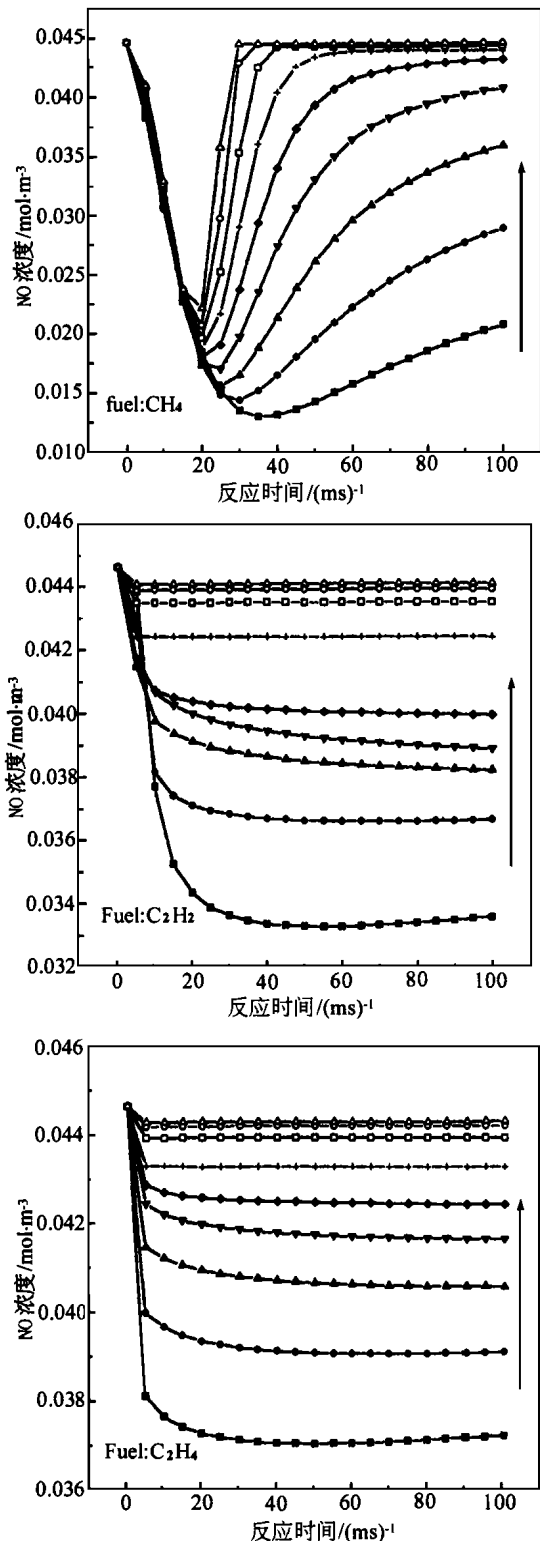


图 2 不同组分在  $\alpha=0.2-1.0$  条件下对 NO 的再燃过程( $\alpha$  沿箭头方向增大)

### 3 计算结果与分析

本文采用适于求解刚性微分方程的 Gear<sup>[5]</sup> 法对给定初始条件的化学反应速度方程进行了求解, 从而可以分析再燃燃料组分、再燃区空气过剩系数和温度对 NO<sub>x</sub> 再燃过程的影响。

#### 3.1 燃料组分的影响

图 2 给出了三种气体燃料作为再燃燃料时 NO<sub>x</sub> 浓度随反应时间的变化过程。由图中可见, 用甲烷作为再燃燃料时, 在所有  $\alpha$  范围内, NO<sub>x</sub> 首先大量被还原, 但随后烟气中的 NO<sub>x</sub> 浓度又会逐渐升高。因此, 选择合适的再燃时间就显得非常重要。用 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 作为再燃燃料时未发现有类似于 CH<sub>4</sub> 的特性。比较三种燃料可知, 选用 CH<sub>4</sub> 做再燃燃料时, 其对 NO<sub>x</sub> 的再燃效果比 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 的再燃效果好。对于所选择的三种再燃燃料, 再燃区空气过量系数越小, NO<sub>x</sub> 的还原率越大。当  $\alpha > 0.7$  以后, 所有三种燃料对 NO<sub>x</sub> 的再燃效果都不明显, 这可能是因为在这样的条件下不容易形成、并保持一定浓度的 CH<sub>i</sub> 基。

#### 3.2 空气过剩系数的影响

再燃区空气过量系数对 NO<sub>x</sub> 的再燃过程有很大的影响。图 3a 给出了再燃区最低 NO<sub>x</sub> 浓度随再燃区空气过量系数的变化。与图 3a 对应的 NO<sub>x</sub> 最大还原率随再燃区空气过量系数的变化如图 3b 所示。由图中可见, 随着再燃区空气过量系数的增大, NO<sub>x</sub> 的还原率减小, 但是, 在所有的  $\alpha$  范围内, 甲烷对 NO<sub>x</sub> 的还原率都远远高于 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 且其 NO<sub>x</sub> 还原率高于 50%。C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 作为再燃燃料时, NO<sub>x</sub> 还原率比较低, 即使在较小的空气过量系数下也不超过 30%。这与我们的想象相差甚远。因为 NO<sub>x</sub> 的还原主要是由于 NO<sub>x</sub> 与形如 CH 和 CH<sub>2</sub> 等的碳氢基发生还原反应的结果。而表面看来 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 更易于形成这样的碳氢基, 但是计算发现并不是这样的。由图 3 可以看出, 三种燃料的再燃效果从大到小依次为 CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>。

#### 3.3 再燃燃料中含氮组分的影响

为了研究含 N 组分对 NO<sub>x</sub> 再燃的影响, 在  $\alpha=0.7$ 、再燃温度等于 1100℃ 的条件下研究了三种再燃燃料有、无含氮组分对 NO<sub>x</sub> 再燃的影响。图 4 给出了在这种情况下计算的结果。由图可见, 当再燃燃料中存在含 N 组分时, 其再燃特性有明显的差别。

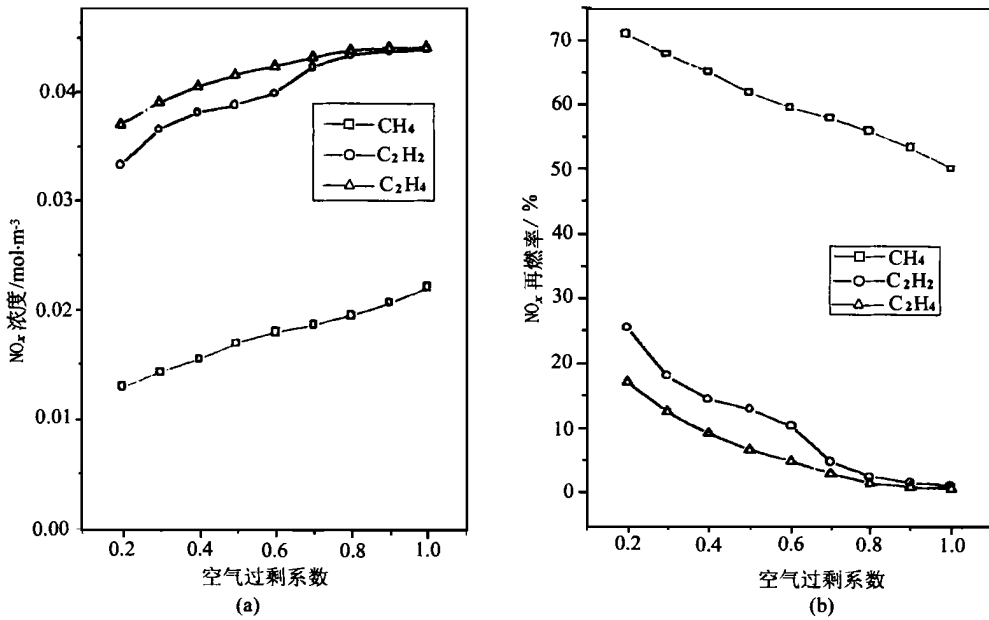


图 3 空气过剩系数对 NO<sub>x</sub> 还原率的影响

很宽,从而使再燃过程易于实现。对于 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 含氮组分的存在对 NO<sub>x</sub> 的还原特性没有大的影响,只是强化了 NO<sub>x</sub> 的再燃过程,增大了再燃效率。在其它空气过量系数条件下,计算结果表明,对于 CH<sub>4</sub>,即使  $\alpha=0.9$ , 含氮组分的存在也明显地强化了 NO<sub>x</sub> 的再燃效果,而对于 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 当  $\alpha > 0.7$  时,含 N 组分的存在反而增大了烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放量,

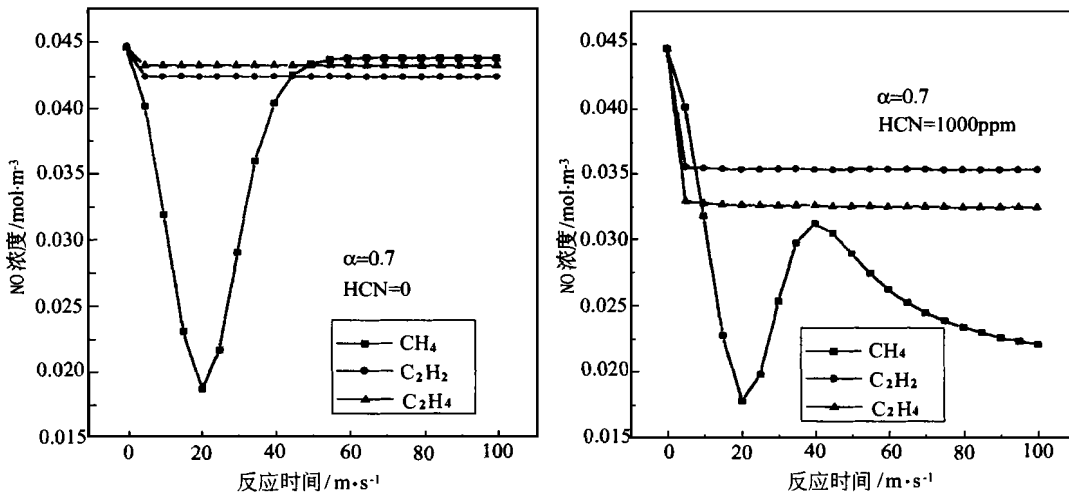


图 4 再燃燃料中含氮组分对 NO 再燃特性的影响

这可能是因为在这样的情况下,含 N 组分容易首先与 O<sub>2</sub> 反应,被氧化形成了 NO<sub>x</sub>。

### 3.4 再燃温度的影响

为了研究再燃区温度对 NO<sub>x</sub> 再燃过程的影响,在空气过量系数  $\alpha = 0.7$ , 温度分别为 1100℃、1200℃ 和 1300℃ 条件下,

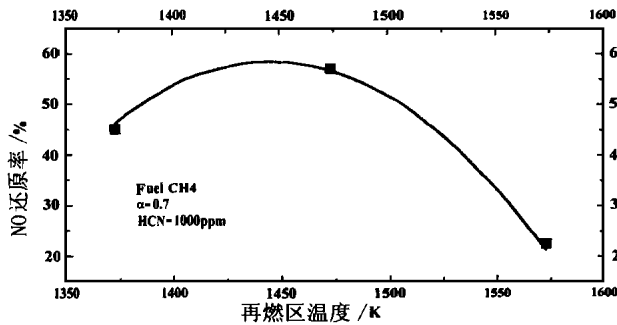


图 5 NO<sub>x</sub> 还原率与再燃温度的关系

尤其是对于 CH<sub>4</sub>, 含氮组分的存在大大的改善了其对 NO<sub>x</sub> 的还原特性。使再燃时间的选择范围变得

对再燃效果最好的甲烷进行了 NO<sub>x</sub> 再燃过程的计算。根据计算结果整理得到的 NO<sub>x</sub> 还原率与再燃区温度的关系如图 5 所示。由图 5 可见,再燃温度对 NO<sub>x</sub> 的还原率有很大的影响。在本文的计算条件下,NO<sub>x</sub> 还原率与再燃区温度存在极值关系。当再燃燃料为 CH<sub>4</sub>、空气过量系数  $\alpha = 0.7$  和 [HCN]/[NO] 摩尔比等于 1.0 时,最佳的再燃温度位于 1150℃~1200℃ 之间,在此温度下 NO<sub>x</sub> 的还原率将达到最大值。由图还可以发现,即使再燃温度高达 1300℃,NO<sub>x</sub> 的还原率也可达到 22.5%。但是,计算结果表明,当温度进一步升高到超过 1400℃ 以后,再燃温度继续升高将很不利于 NO<sub>x</sub> 的还原,而且当主燃料中含有燃料氮时反而会加速含 N 组分的氧化,使烟气中 NO<sub>x</sub> 的浓度增大。

### 4 结 论

由以上的计算结果, 及其分析讨论可以得出以下结论:

(1) 在实际锅炉中应用再燃技术时, 再燃区的空气过量系数要严格控制, 在较小值范围内, 本文计算结果表明, 一般应控制在  $\alpha \leq 0.7$ , 以达到较好的再燃效果。

(2) 在本文所采用的再燃燃料中,  $CH_4$  对  $NO_x$  的再燃效果明显地比  $C_2H_2$  和  $C_2H_4$  好, 但必须选择合适的再燃时间才能达到较高的  $NO_x$  还原率。

(3) 再燃燃料中含 N 组分(如 HCN)的存在可以改变  $NO_x$  的再燃过程, 并在一定的空气过量系数范围内增大  $NO_x$  还原率, 但在较大空气过量系数(对于  $CH_4 - \alpha > 0.9$ , 对于  $C_2H_2$  和  $C_2H_4 - \alpha > 0.8$ )或较高再燃温度( $T \geq 1400^\circ C$ )下反而会由于含

N 组分的氧化使烟气中  $NO_x$  浓度明显增大。

(4) 再燃区温度对  $NO_x$  的还原率有较大的影响, 对于特定的再燃燃料和再燃区空气过量系数, 存在一个最佳的再燃温度, 使  $NO_x$  的还原率达到最大。

### 参 考 文 献

[1] Takahashi Y, Sengoku T, Nakashima F, et al. Development of MACT in-furnace  $NO_x$  removal process for steam generators. Proc. 1982 Joint Symposium Stationary  $NO_x$  Control, Vol. 1, EPRI Report NoCS-3182, July, 1983.

[2] Burch T E, Tillman F R, Chen W Y, et al. Partitioning of nitrogenous species in the fuel-rich stage of reburning. *Energy & Fuel*. 1991, 5:231~237.

[3] Chen W Y, Long Ma. Effect of heterogeneous mechanisms during reburning of nitrogen oxide. *AIChE Journal*. 1996, 42(7):1968~1975.

[4] 钟北京, 徐旭常. 燃烧系统中燃料燃烧和  $NO_x$  形成过程的计算机模拟. *燃烧科学与技术*, 1995, 11(2):1~9.

[5] 吉尔 C W 著, 费景高, 刘德贵, 高永春等译. 常微分方程初值问题的数值解法. 科学出版社, 1978.

### 附录 A 化学反应动力学机理

反应动力学常数公式:  $k = A \cdot T^N \cdot \exp(-E/RT)$

单位:  $mol, m^3, s, K$  和  $cal/mol$

化学反应方程	A	N	E
1 H2+OH=H2O+H	.1170E+04	1.3000	.3650E+04
2 H+O2=OH+O	.1900E+09	.0000	.1690E+05
3 H2+O=OH+H	.1820E+05	1.0000	.8960E+04
4 H+O2+M=HO2+M	.2700E+07	-.8600	.0000E+00
5 HO2+H=OH+OH	.1400E+09	.0000	.1073E+04
6 HO2+H=H2O+O	.1050E+08	.0000	.1420E+04
7 HO2+H=H2+O2	.1250E+08	.0000	.0000E+00
8 OH+HO2=H2O+O2	.7500E+07	.0000	.0000E+00
9 O+HO2=OH+O2	.1400E+08	.0000	.1073E+04
10 H+H+M=H2+M	.3020E+04	.0000	.0000E+00
11 OH+H+M=H2O+M	.1413E+12	-2.0000	.0000E+00
12 H+O+M=OH+M	.1000E+05	.0000	.0000E+00
13 OH+OH=H2O+O	.3160E+07	.0000	.1100E+04
14 CH4+O2=CH3+HO2	.6000E+08	.0000	.5500E+05
15 CH4+OH=CH3+H2O	.3467E-02	3.0800	.2000E+04
16 CH4+H=CH3+H2	.1259E+09	.0000	.1190E+05
17 CH4+O=CH3+OH	.1585E+08	.0000	.9200E+04
18 CH3+O=H2CO+H	.1288E+09	.0000	.2000E+04
19 CH3+OH=H2CO+H2	.2100E+07	.0000	.0000E+00
20 CH3+H=CH2+H2	.2000E+08	.0000	.1240E+05
21 CH2+O2=HCO+OH	.1000E+09	.0000	.3700E+04
22 CH2+OH=CH+H2O	.2692E+06	.6700	.2570E+05
23 CH2+O=CH+OH	.1960E+06	.6700	.2500E+05
24 CH2+H=CH+H2	.2692E+06	.6700	.2570E+05
25 CH+O2=HCO+O	.1000E+08	.0000	.0000E+00
26 H2CO+OH=HCO+H2O	.7586E+07	.0000	.1700E+03
27 H2CO+O2=HCO+HO2	.3630E+10	.0000	.4606E+05
28 H2CO+H=HCO+H2	.3310E+09	.0000	.1050E+05
29 H2CO+O=HCO+OH	.5012E+08	.0000	.4600E+04
30 HCO+O2=CO+HO2	.3981E+07	.0000	.7000E+04
31 HCO+H=H2+CO	.2000E+09	.0000	.0000E+00
32 HCO+OH=CO+H2O	.1000E+09	.0000	.0000E+00
33 HCO+O=OH+CO	.1000E+09	.0000	.0000E+00
34 CO+OH=CO2+H	.1500E+02	1.3000	-.7700E+03
35 CO+O+M=CO2+M	.5888E+04	.0000	.4100E+04
36 CO+H+M=HCO+M	.5000E+00	1.0000	.1550E+04
37 O+O+M=O2+M	.4677E+04	-.2800	.0000E+00
38 N+N+M=N2+M	.2500E+04	.0000	.0000E+00
39 N2+O=NO+N	.1300E+09	.0000	.7550E+05
40 N+O2=NO+O	.6300E+04	1.0000	.6250E+04
41 N+OH=NO+H	.5000E+06	.5000	.5000E+04
42 HCN+OH=CN+H2O	.1450E+08	.0000	.1093E+05
43 HCN+H=CN+H2	.2000E+06	.6900	.1840E+05
44 HCN+O=CN+OH	.2700E+04	1.5800	.2660E+05
45 HCN+OH=HNCO+H	.4000E+06	.0000	.0000E+00

	化学反应方程	A	N	E
46	NH <sub>3</sub> +H=NH <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	.6360E+00	2.3900	.1017E+05
47	NH <sub>3</sub> +O=NH <sub>2</sub> +OH	.1300E+07	.0000	.6000E+04
48	NH <sub>3</sub> +OH+NH <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	.3300E+07	.0000	.2200E+04
49	CN+O <sub>2</sub> =NCO+O	.5600E+07	.0000	.0000E+00
50	CN+OH=NCO+H	.5600E+08	.0000	.0000E+00
51	NCO+H=NH+CO	.2000E+08	.0000	.0000E+00
52	HNCO+H=NH <sub>2</sub> +CO	.1000E+08	.0000	.0000E+00
53	NH <sub>2</sub> +H=NH+H <sub>2</sub>	.5000E+06	.5000	.2000E+04
54	NH <sub>2</sub> +O=NH+OH	.2000E+08	.0000	.1000E+04
55	CN+O=N+CO	.6310E+06	.5000	.0000E+00
56	NH+OH=N+H <sub>2</sub> O	.5000E+06	.5000	.2000E+04
57	NH <sub>2</sub> +O+OH=N+H+H <sub>2</sub> O	.6630E+09	-.5000	.0000E+00
58	NH+H=N+H <sub>2</sub>	.1000E+07	.6800	.1900E+04
59	NH+O=NO+H	.5000E+06	.5000	.5000E+04
60	NH+OH+OH=NO+H+H <sub>2</sub> O	.2000E+08	.0000	.0000E+00
61	N <sub>2</sub> +CH=HCN+N	3000E+06	.0000	.1360E+05
62	N <sub>2</sub> +CH <sub>2</sub> =HCN+NH	.1000E+08	.0000	.7400E+05
63	NO+NH=N <sub>2</sub> +OH	.2400E+07	.0000	.0000E+00
64	NO+CH <sub>2</sub> =HCN+OH	.1000E+09	.0000	.1200E+05
65	NO+NH <sub>2</sub> =N <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	.1260E+11	-1.2500	.0000E+00
66	NH+N=N <sub>2</sub> +H	.6300E+06	.5000	.0000E+00
67	NH+O <sub>2</sub> =NO+OH	.7600E+05	.0000	.1530E+04
68	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> +M=C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> +M	.2950E+12	.0000	.7929E+05
69	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> +O=CH <sub>3</sub> +HCO	.3300E+07	.000	.1130E+04
70	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> +OH=H <sub>2</sub> CO+CH <sub>3</sub>	.2000E+07	.0000	.9600E+03
71	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> +O=H <sub>2</sub> CO+CH <sub>2</sub>	.2500E+08	.0000	.5000E+04
72	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> +OH=CH <sub>3</sub> +CO	.1200E+07	.0000	.5000E+03
73	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> +O=CH <sub>2</sub> +CO	.6760E+08	.0000	.4000E+04
74	CH <sub>4</sub> +M=CH <sub>3</sub> +H+M	.2000E+12	.0000	.8840E+05
75	CH <sub>3</sub> +OH=CH <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	.7500E+01	2.0000	.5000E+04
76	CH <sub>3</sub> +O=H <sub>2</sub> CO+H+M	.5300E+07	.0000	.0000E+00
77	CH <sub>4</sub> +HO <sub>2</sub> =CH <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	.1800E+06	.0000	.1870E+05
78	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +OH=H <sub>2</sub> O+HO <sub>2</sub>	.1000E+08	.0000	.1800E+04
79	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> =HO <sub>2</sub> +HO <sub>2</sub>	.3981E+08	.0000	.4264E+05
80	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +M=OH+OH+M	.1300E+12	.0000	.4550E+05
81	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +H=HO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	.1698E+07	.0000	.3750E+04
82	H <sub>2</sub> CO+HO <sub>2</sub> =HCO+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	.1000E+07	.0000	.8000E+04
83	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +H=H <sub>2</sub> O+OH	.3200E+09	.0000	.8900E+04
84	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +O=HO <sub>2</sub> +OH	.2800E+08	.0000	.6400E+04
85	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +O=H <sub>2</sub> O+O <sub>2</sub>	.1400E+08	.0000	.6400E+04
86	HNCO+M=NH+CO+M	.1140E+11	.0000	.8680E+05
87	NO+CH=HCN+O	.1100E+09	.0000	.0000E+00
88	NCO+O=NO+CO	.2000E+08	.0000	.0000E+00
89	NCO+H <sub>2</sub> =HNCO+H	.8580E+07	.0000	.9000E+04
90	NH <sub>2</sub> +OH=NH+H <sub>2</sub> O	.4000E+01	2.0000	.1000E+04
91	HCN+O=NH+CO	.3450E-02	2.6400	.4980E+04
92	HCN+O=NCO+H	.1380E-01	2.6400	.4980E+04
93	CH <sub>3</sub> +N=HCN+H+H	.3000E+09	.0000	.2200E+05
94	CH <sub>2</sub> +N=HCN+H	.5000E+08	.0000	.0000E+00
95	N <sub>2</sub> +O+M=N <sub>2</sub> O+M	.1820E+02	.0000	.2140E+05
96	N <sub>2</sub> O+O=NO+NO	.1995E+08	.0000	.2170E+05
97	N <sub>2</sub> O+O=N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	.1660E+08	.0000	.2090E+05
98	N <sub>2</sub> O+H=N <sub>2</sub> +OH	.7600E+08	.0000	.1520E+05
99	N <sub>2</sub> O+H=NO+NH	.1905E+08	.0000	.3472E+05
100	N <sub>2</sub> +HO <sub>2</sub> =N <sub>2</sub> O+OH	.1100E+08	.0000	.3982E+05
101	NO <sub>2</sub> +OH=NO+HO <sub>2</sub>	.6000E+07	.0000	.8000E+04
102	NO <sub>2</sub> +M=NO+O+M	.1100E+11	.0000	.6600E+05
103	NO <sub>2</sub> +O=NO+O <sub>2</sub>	.1000E+08	.0000	.6000E+03
104	NCO+NO=N <sub>2</sub> O+CO	.1000E+08	.0000	-.3900E+03
105	CH <sub>3</sub> +O=CH <sub>2</sub> +OH	.7400E+07	.5000	.1343E+05
106	CH <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> =H <sub>2</sub> CO+O	.2000E+08	.0000	.9000E+04
107	CO+HO <sub>2</sub> =CO <sub>2</sub> +OH	.5750E+08	.0000	.2290E+05
108	CO+O <sub>2</sub> =CO <sub>2</sub> +O	.2500E+07	.0000	.4770E+05
109	CH <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> =CO+H <sub>2</sub> O	.1900E+05	.0000	-.1000E+04
110	CH <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> =CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	.6900E+06	.0000	.5000E+03
111	CH <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> =CO <sub>2</sub> +H+H	.1600E+07	.0000	.1000E+04
112	CH <sub>3</sub> +O <sub>2</sub> =H <sub>2</sub> CO+OH	.5250E+08	.0000	.3460E+05
113	CH+O <sub>2</sub> =CO+OH	.1350E+06	.6700	.2570E+05
114	CH+CO <sub>2</sub> =HCO+CO	.1000E+05	.5000	.6000E+04
115	HCO+H+M=H <sub>2</sub> CO+M	.1710E-01	1.0000	-.1177E+05
116	NH <sub>3</sub> +O <sub>2</sub> =NH <sub>2</sub> +HO <sub>2</sub>	.5000E+06	.5000	.5600E+05
117	NH <sub>3</sub> +M=NH <sub>2</sub> +H+M	.2510E+11	.0000	.9440E+05
118	HNCO+OH=NCO+H <sub>2</sub> O	.2650E+07	.0000	.5540E+04

ICR 进展及关键技术 = **New Developments in ICR Engines and Related Key Techniques** [刊, 中] / Liu Yongbao, Zhang Renxing (Naval Engineering Academy) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 415 ~ 418

In addition to a series of advantages specific to a simple cycle gas turbine ICR engines feature an excellent off-design performance with Model WR-21 engine being ranked as the most advanced. This paper gives a brief description of some new developments in WR-21 gas turbines. The key techniques relating to such major components as intercoolers, regenerators, engine enclosures and digital control systems are also analyzed. **Key words:** ICR gas turbine, intercooler, regenerator, enclosure, control system

气体燃料再燃对 NO<sub>x</sub> 还原的影响 = **Effects of Gaseous Fuel Reburning on NO<sub>x</sub> Reduction** [刊, 中] / Zhong Beijing, Fu Weibiao (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 419 ~ 423

Gaseous fuel reburning pertains to one of the most effective methods being extensively studied for the reduction of NO<sub>x</sub> content in flue gases. With the gases in a typical primary combustion zone serving as simulation gases the authors have studied the influence of different gaseous fuels (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) and the reburning zone combustion conditions (excess air coefficient and reburning temperature) on NO<sub>x</sub> reburning process and its reduction. Through calculations it is found that different compositions of gaseous fuels, the excess air coefficient and firing temperature in the reburning zone exercise a significant influence on the NO<sub>x</sub> reburning process and NO<sub>x</sub> reduction rate. **Key words:** fuel reburning, gaseous fuel, NO<sub>x</sub> reduction

煤粉锅炉炉膛燃烧、传热一维数学模型的研究 = **A Study of the Combustion and Heat Transfer One-dimensional Mathematical Model for a Pulverized Coal-fired Boiler Furnace** [刊, 中] / Dong Peng, Hong Mei, Qin Yukun et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 424 ~ 427

A combustion and heat transfer one-dimensional mathematical model has been set up for the analytical computation of one-dimensional distribution magnitudes of such thermodynamic parameters as furnace gas temperatures, water wall absorption heat flux density, heat release rate, etc. under various operating conditions. The calculation and analysis of three different models of boilers and a comparison of the calculated results with original design data have validated the rationality of the adopted mathematical model. **Key words:** furnace internal process, in-furnace heat transfer, mathematical model, pulverized coal combustion

折焰角结构对上部炉膛流场影响的数值研究 = **Numerical Simulation of the Effect of Arch Nose Structure on Furnace Upper Section Flow Field** [刊, 中] / Li Yanpeng, Xu Jinyuan (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 428 ~ 430

Based on a porosity conception conducted is a numerical simulation of the flow field in a boiler furnace under various arch nose structures. The effects of such structures on the residual swirl at the furnace outlet and the velocity distribution at the inlet of horizontal gas-pass were studied. The study results have been verified by way of a cold-state simulation test. They can serve as useful reference data during the design and retrofitting of utility boilers. **Key words:** arch nose, residual swirl, thermal excursion, numerical simulation

椭圆锥急燃器对煤粉火焰的稳燃作用 = **The Combustion Stabilizing Role Played by an Ellipsoidal Cone Combustion Stabilizer** [刊, 中] / Jing Youyin, Wang Baosheng (North China Electrical Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 431 ~ 433

By introducing the characteristics parameters of a gas-solid two-phase flow and proceeding from the structure of a pulverized-coal flow an analysis is performed of the combustion stabilizing action of an ellipsoidal cone combustion stabilizer on a pulverized-coal flame. **Key words:** ellipsoidal cone combustion stabilizer, characteristics parameter, pulverized-coal flame, ignition and steady combustion

600MW 锅炉机组膜式水冷壁壁温的试验研究及理论分析 = **Experimental Investigation and Theoretical Analysis of Membrane Water Wall Temperature in a 600 MW Boiler Unit** [刊, 中] / Yu Yanzhi, Tang Biguang, Liu Yong, et al (Wuhan University of Water Resources and Electrical Power) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 434 ~ 436