

要选定。在高含酸量的情况下,硫化法对处理铁、锌、镉、氟等效果不好,中和处理应首先考虑利用废碱液,如送入尾矿池统一处理等方式。

5. 本法采用使进液瞬间与硫化剂混合并压送至反应槽底的水力变速反应装置,处理效果较好,在此设备上还加装了硫化氢气体回流设施,能将液面逸出的 H_2S 全部回收,比国外处理系统减少了 H_2S 吸收塔、除害塔、风机、排放筒及氢氧化钠溶解、添加装置等。

6. 硫化剂一般可采用硫化钠,硫氢化钠或硫化氢气体,就减少带入的钠量来说,硫化氢最好,不带入钠。硫氢化钠带入钠量比硫

化钠少一倍。

7. 白银冶炼厂最近已在硫酸车间建成一座冶炼烟气洗涤污酸液硫化法处理站,试车后硫化法处理系统运行正常,但酸液回用及金属回收等有待前后其他系统的完善,如对处理后的废污酸加以利用,硫化剂采用兰州炼油厂工业废液,并逐步将沉渣中铜、硒、铋、砷等加以冶炼回收,直接经济效益每年将超过百万元,因此硫化法的试验成功不但有环境效益、社会效益同时也有经济效益。

参 考 文 献 略

(收稿日期:1988年4月28日)

水煤浆在复合前置燃烧室内低 NO_x 排放的研究

曹欣玉 徐 幸 姚 强 黄镇宇 钱剑青 岑可法

(浙江大学热物理工程系)

近年来,随着水煤浆燃烧技术的不断发展,采用复合前置燃烧室作为一种新型的煤浆燃烧设备已得到初步的研究^[1,2],并将走向工业性试验。本文在以往浙江大学燃烧教研室研究煤及水煤浆沸腾燃烧过程中 NO_x 的生成理论基础^[3,4],对水煤浆、油等燃料在复合前置燃烧室内,雾炬燃烧过程中 NO_x 的生成进行了研究。通过大量的试验,证实了采用分段送风燃烧等方法的复合前置燃烧室是一种理想的低 NO_x 排放燃烧设备。

一、试验装置及方法

试验是在浙江大学燃烧实验室的复合前置燃烧试验装置上进行的,如图1所示。该试验装置由立式预燃室,燃烧室、混合室、喷

动床以及模拟炉膛组成。预燃室直径为300mm,燃料和一次风由顶部加入,一次风可直流或旋流。二次风在燃料燃烧着火一定距离后加入,为旋转风。底部喷动床鼓入少量喷动风,能托起分离下来的部分未燃尽的结团煤浆粒子,减少机械不完全燃烧损失。三次风的加入,能补充煤浆燃烧后期所需的氧量,使燃尽率提高。高温烟气经模拟炉膛及除尘器后,由烟囱排入大气中。

燃烧过程中,烟气氧量由CY7测氧仪及气敏色谱仪分析测定, NO 及 NO_x 用RS-325L NO_x 分析仪测定,事先这些仪表都进行过标定。炉内火炬及高温烟气温度由水冷铂铑-铂热电偶进行测定。整个测量系统如图2所示。

表 1 水煤浆制备用煤及轻柴油分析数据

燃 料	工业分析				元素分析					
	W^f	A^f	V^f	$C_{固}^f$	C^f	H^f	N^f	O^f	S^f	Q_{DW} KJ/kg
八一煤	1.7	7.15	32.64	58.51	77.5	4.92	1.48	6.45	0.76	31563
抚顺煤	4.74	4.17	39.88	51.19	75.6	5.01	1.11	8.42	0.44	31091
轻柴油					85.60	13.58	0.71			

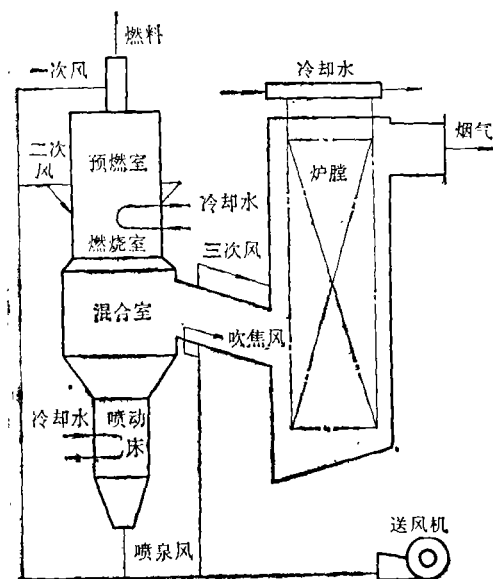
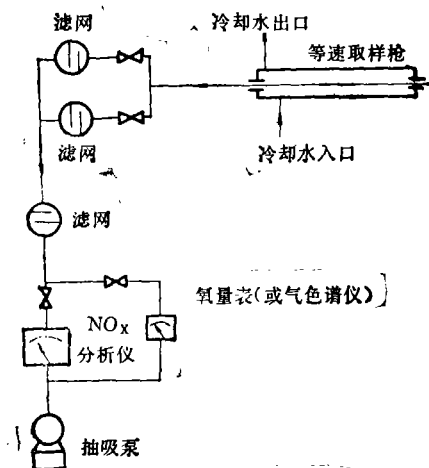


图 1 复合前置燃烧试验装置简图

图 2 NO_x 测量系统流程图

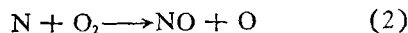
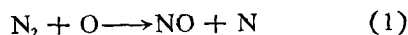
试验用水煤浆为“抚顺”及“八一”浆，燃油为轻柴油，其分析数据见表 1。水煤浆的

浓度为 62—68%，投浆量为 40—100kg/h，燃烧空气均采用冷风。

二、水煤浆在雾炬燃烧时 NO_x 的生成

1. 水煤浆燃烧时 NO_x 的析出规律。

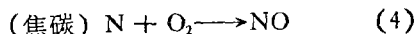
水煤浆在燃烧过程中生成的 NO_x 主要由“热力”氮氧化物和“燃料”氮氧化物二部分组成。“热力”氮氧化物是指空气中氮气在高温和催化剂作用下所生成的 NO_x ，根据 Zel'dovich 原理：



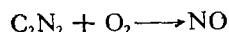
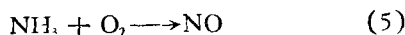
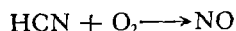
由以前的研究表明，“热力” NO_x 不到煤燃烧时产生的 NO_x 总量的 10—20%。因此，其不是 NO_x 的主要来源^[4,5]。

“燃料”氮氧化物是由于燃料中一定数量的氮与氧反应而生成的，它又可分为由焦炭中氮与挥发物中氮在燃烧时生成 NO_x 。

焦炭中氮大部分按下式生成 NO_x ：

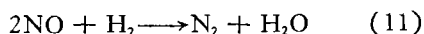
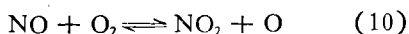
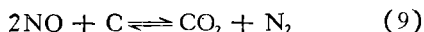
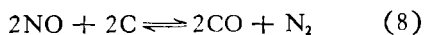
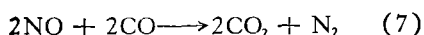


而挥发物中的氮一般首先转换成简单的氮化合物，如 NH_3 、 C_2N_2 、 HCN 等，再与氧生成 NO ^[6]，



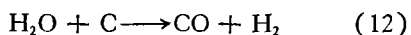
在炉内， NO 同时还会进行一系列还原或氧化反应，如下式：



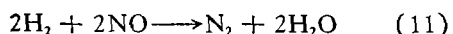
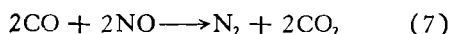


因此,燃料中氮形成 NO_x 比热力 NO_x 要复杂得多,它除了和燃料中含氮量的多少以及燃料氮的存在形式等有关外,还和炉内气氛、温度水平、燃料浓度等有密切关系。

在燃烧水煤浆时,由于燃料带入炉内的水份较多,一般可达 32—38%,因而在合适的气氛、温度条件下,极易发生如下的水煤气反应:



而 H_2 、 CO 的存在对 NO 有还原作用:



因而,在燃用水煤浆的燃烧室内,由于存在有 NO 的还原作用,故水煤浆燃烧时生成的 NO_x 比燃用煤粉时要低。浙大燃烧教研室曾报道过在流化床中烧水煤浆时 NO_x 排放比烧煤时低 20% 左右^[3]。

2. 过量空气系数 α 对 NO_x 生成的影响

图 3 为水煤浆在复合前置燃烧试验装置内,火炬燃烧状态下 NO_x 排放与过量空气

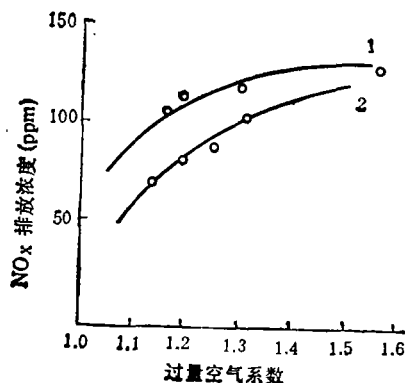


图 3 NO_x 排放浓度随过量空气系数 α 的变化

1. 容积热负荷 $2.0 \times 10^6 \text{ W/m}^3$

2. 容积热负荷 $1.6 \times 10^6 \text{ W/m}^3$

系数 α 的关系。可以看到,随着 α 的增加, NO_x 排放也趋增加,而在 α 达到一定值以后 ($\alpha > 1.4$), NO_x 排放增加甚少,此时可能是由于鼓入空气量或漏风太多,稀释了 NO_x 浓度,使其渐趋稳定。而在过量空气系数较小 ($\alpha < 1.3$) 时, NO_x 增长速率很快。因此,采用分段燃烧,以及低氧燃烧,对降低 NO_x 排放,具有明显效果。

图 3 中,曲线 1 为烧“抚顺”水煤浆,曲线 2 为“八一”水煤浆。显而易见,容积热负荷高的, NO_x 排放也较高。

三、在复合前置燃烧室中低 NO_x 排放的试验研究

1. 分段燃烧

试验是在浙江大学复合前置燃烧装置上进行的,见图 1。我们先进行了大量燃油试验。首先将油及所需氧量全由顶部一次风口加入,使燃烧器本身的 $\alpha > 1$, 处于富氧状态下燃烧,测量沿火炬轴向距离的截面平均温度、氧量以及 NO_x 的变化规律;然后采用分段送风燃烧,将一部分空气在火炬着火燃烧一定距离后再加入,以保证第一段的燃烧始终处于较低的过量空气系数状态,使初始燃烧区内氧气不足,重复上述的测量内容。图 4 给出了二个工况的测量结果。显然,分段燃烧始终处于较低的氧量状态,过量空气系数较低,燃烧也得以减弱,因而降低了炉膛温度水平,抑制了 NO_x 的生成。故分段送风燃烧的 NO_x 排放较一段燃烧时低。

图 5 给出了测量在不同过量空气系数时,分段燃烧沿炉内轴向距离截面平均 NO_x 的生成以及火炬温度、氧量变化的结果。其工况如表 2。

由图可见,在较高过剩空气系数时,温度水平也高,氧量充足,因而使得“燃料” NO_x 生成的也多。因此,在保证燃烧效率的前提下,适当减小过量空气系数,可以抑制 NO_x 的生成,从而减少其排放和危害。

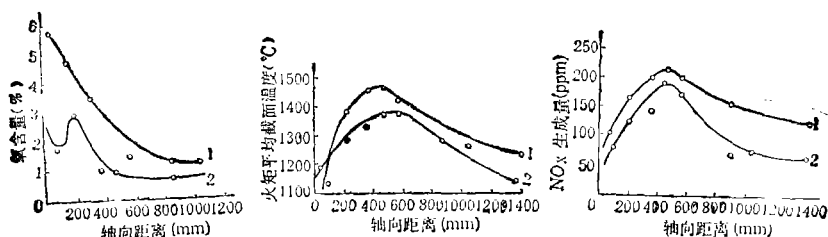


图 4 一段与二段燃烧 NO_x 生成、火焰平均截面温度、氧量沿轴向变化规律

1. 一段燃烧 2. 分段燃烧

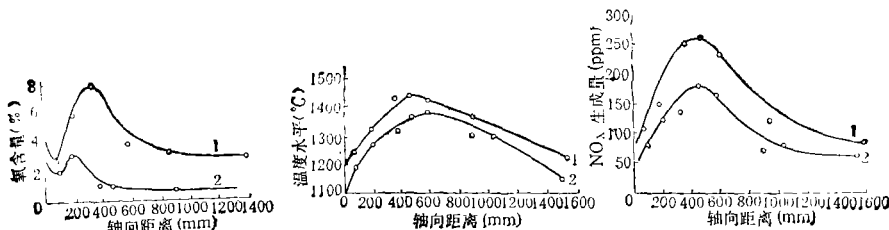


图 5 不同过量空气系数时 NO_x 生成、温度水平、氧量沿轴向变化规律

1. 大过量空气系数 2. 低过量空气系数

表 2 试验工况主要参数

工况 \ 参数	耗油量 L/h	雾化空气量 M^3/h	一次风 m^3/h	二次风 m^3/h	α
高氧量	24	9	72	138	1.14
低氧量	24	9	59	132	1.04

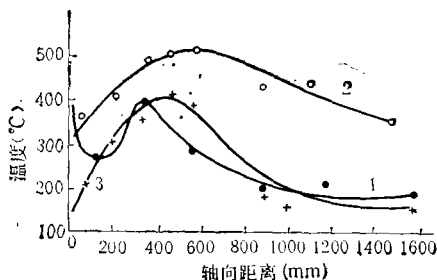


图 6 “抚顺”水煤浆 NO_x 生成、火焰温度水平、氧量沿轴向变化规律

图中纵坐标为 NO_x 浓度 (ppm)

2. 燃用水煤浆的复合前置燃烧室内 NO_x 生成的试验

图 6 给出了测量“抚顺”水煤浆在复合前置燃烧试验装置中,雾炬分段燃烧时的 1. 氧量、2. 火焰温度水平、3. NO_x 生成沿轴向截面平均的变化结果。燃烧室容积热负荷为

$1.9 \times 10^6 \text{W}/\text{m}^3$, 整个燃烧过程的氧量都控制在比较低的水平,出口过量空气系数为 1.04, 由以上讨论可知,可以有效地抑制 NO_x 的生成。 NO_x 生成最大处约为 430(ppm),该处烟气中可燃物如 CO , HC 等浓度也达到较大值,颗粒可燃物燃尽率已达相当程度,温度水平也最高(1430°C)。此时炉内温度水平和气氛将促使对 NO 进行还原分解,使 NO_x 逐渐降低,直到燃烧过程的结束。由图 4、5、6 还可发现,雾炬燃烧时, NO_x 最大值总是出现在火焰中心温度最高点左右附近,这与文献 3 所研究的在沸腾燃烧过程中所出现的情况相似。因此采用降低火焰中心温度的措施(如采用分段燃烧等),无疑是可以有效地抑制 NO_x 的生成。

据文献^[6]等介绍,一般燃用煤粉的电站

锅炉, 普通设计的燃烧器平均 NO_x 排在 300—500ppm (考虑过量空气系数为 1.06), 而用复合前置燃烧装置燃用水煤浆时, 可使锅炉的 NO_x 排放降低到小于 150ppm (考虑过量空气系数为 1.06), 故作为一种新型的燃烧设备, 复合前置燃烧室不失为一种理想的低污染燃烧器, 已可用于工业性试验。

四、结 论

根据以上在复合前置燃烧试验装置中的试验研究及分析, 可以得出几点初步结论:

1. 采用分段送风燃烧, 保持较低的氧量水平, 能降低炉内温度水平, 有效地抑制 NO_x 生成及排放。

2. 水煤浆在复合前置燃烧室中的雾炬燃烧试验表明, 水煤浆是一种很有前途的清洁代用液体燃料, 而采用分段送风燃烧等方法的复合前置燃烧室则是一种理想的低污染燃烧设备。

3. 由测定沿水煤浆燃烧火炬的 NO_x 生成以及排放规律表明, 最大 NO_x 浓度均出现在相应最高火炬温度左右附近, 而降低火炬温度水平, 则能有效地减少 NO_x 的排放。

致谢: 本研究工作是在岑可法教授的直接领导下进行的, 试验阶段曾得到浙江大学燃烧实验室曹英武、池作和、李绚天、葛林甫同志的大力协助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 岑可法等, 提高水煤浆燃烧效率和燃烧强度的途径, 第七届国际煤浆制备与利用会议论文集, 1985, 美国。
- [2] 沈珞璋等, 浙江大学学报, **21**(6), 103(1987)。
- [3] 岑可法等, 燃料化学学报, **12**(2), 149(1984)。
- [4] 岑可法等, 燃料化学学报, **12**(1), 33(1984)。
- [5] Preece, L., *Power*, **125**(1), 33(1981)。
- [6] Felke Bergsma, *Ind. Eng., Chem. Process, Des. Dev.*, **24**(1), 1985。

(收稿日期: 1988 年 3 月 7 日)

(上接第 9 页)

作用的活性形式, 即活性突变剂谷胱甘肽- Se^- , 导致 DNA 损伤, SCE 增高。

实验结果还表明, 硒化合物对 HgCl_2 诱发细胞 SCE 和推迟细胞周期的作用有防护效应。虽然 $3 \times 10^{-6} \text{mol/L}$ 的 Na_2SeO_3 或 $1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 的 HgCl_2 单独处理淋巴细胞, 均可显著提高细胞 SCE 频率, 但是如以二者的上述浓度同时处理淋巴细胞时, 却可使细胞 SCE 下降至未受汞或硒处理的对照细胞的 SCE 水平。更为有趣的是, $1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 的 Na_2SeO_3 可使细胞生长停止, 显示细胞毒作用, $1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ HgCl_2 可使细胞周期推迟、SCE 显著增高。但如二者均以上述浓度同时处理细胞时, 淋巴细胞可继续生长, 且细胞 SCE 频率和细胞周期均接近未作任何处理的对照组。这既消除了该浓度下 Na_2SeO_3 的细胞毒作用, 又消除了

HgCl_2 诱发细胞 SCE 和推迟细胞周期的作用。这意味着, 这两种化合物相互间具有拮抗作用, 其拮抗机制可能是在于汞和硒形成了高分子复合物, 从而降低了各自的细胞毒性所致^[7,8]。在含有 Na_2SeO_3 和 HgCl_2 的体外全血培养物中有谷胱甘肽硒和汞分子比为 1:1:1 的复合物形成^[9]。在这种复合物中汞和硒都失去了它们能使染色体 DNA 损伤的活性。由于红细胞中含谷胱甘肽的浓度较高, 本实验全血培养物中含大量红细胞, 故本实验结果支持下述观点: 即谷胱甘肽-Se-Hg 复合物的形成可能是 HgCl_2 和硒化合物相互拮抗的关键步骤。

参 考 文 献

- [1] Stetka, D. G. et al., *Mutat. Res.*, **41**, 343 (1976)。
- [2] Carrano, A. V. et al., *Nature* (London), **271**, 551 (1978)。
- [3] Crossen, P. E. and W. F. Morgan, *Exp. Cell Res.*

(下转第 56 页)

and for direct recovery of hydrogen sulfide, the treatment results are improved, the process is simplified and less equipment is required. (See pp. 40—45)

Research on Emission of NO_x in the Pre-Combustor of Coal Water Slurry (CWS) Spray Combustion

Cao Xinyu *et al.* (Zhejiang University, Hangzhou)

A study of formation and emission of NO_x in the pre-combustor of coal water slurry (CWS) and oil spray combustion has been presented in this paper. The experiments showed that emission of NO_x and flame temperature in two-stage burning were lower than that in one-stage burning. The emission of NO_x was lower than 150 ppm (based upon 6% excess of air), as using pre-combustor in burning coal water slurry. Thus CWS may be considered as a cleaning fluid fuel, and the pre-combustor is a less pollution combustion device, (See pp. 45—49)

Determination of Calcium and Magnesium in Water Samples Using Semi-Automatic Photometric Titration

Zhu Jianzhong *et al.* (Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai); Chen Zhengfu *et al.* (Shanghai Environmental Monitoring Centre, Shanghai)

Calcium and magnesium in water samples were determined by using an apparatus with a dual-wavelength fiber-optic probe for semi-automatic photometric titration. The subtraction of the signals of two light beams of different wavelength which pass the same titration solution eliminated the turbidity and dilution effects and increased titration sensitivity. No interference was found as the amounts of suspension was less than 20 mg in 50 ml sample solution. It took 1—2 min. for single titration. The limits of detection and measurement range of calcium and magnesium are 0.14 μg , 0.09 μg (3.6×10^{-9} mol) and 4 μg —40 mg 2.4 μg —24 mg respectively. R. S. D. and recovery of this method are 0.12% and 101.2% respectively. Analytical results of this method for six kinds of water samples are in agreement with that of A. A. S. method (See pp. 50—53)

Iodometric Once Determination of BOD_5

Han Xiangkui, Jin Chengji and Xu Lijuan (Harbin Institute of Architecture and Civil Engineering, Harbin)

A sensitive, accurate and handy method is presented for determination of BOD_5 . Two flasks of culture solution were prepared. Solution of mercuric chloride or concentrated hydrochloric acid was put into one flask, so that the bacteria in it would lose activity. Then two flasks were cultured at same time. Five days after, the dissolved

oxygen was determined using iodometry, by which value of BOD_5 was once measured. This method would avoid interference of consumed oxygen of chemical oxidation. (See pp. 53—56)

Principles and Procedures of the Design of Regional Environmental Management Information Systems

Cheng Shengtong *et al.* (Dept. of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing)

Environmental Information Data Base (EIDB) is one of the key projects in China during 7th Five-Year Plan. The authors offered a proposal on the principles and the methods of the system design as follows: the environmental information and its features, the basic model of environmental management and its information system in China, the function analysis on regional environmental management in operation, principles of design and the developing procedure of regional environmental management information system.

Based on the tenets of management information system and the real situation of China, the principles and the procedures of regional environmental management information system (REMIS) have been proposed in this paper. (See pp. 57—61)

Application of Group Analytical Hierarchy Process to the Problems of Beijing Water Resources

Huang Ganliang *et al.* (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing); Xu Shubo (Institute of Systems Engineering, Tianjin University)

For the purpose of studying serious water shortage in Beijing area and its countermeasures available, group AHP was used to synthesize the opinions and judgements of 63 experts from all walks of life in Beijing in this paper. Five rounds of expert consultation were done, and the model structure was established on the basis of first round expert consultation and repeated discussion and consideration. Eigenvalue method was chosen for the calculation of the system on computer Victor-9000. In order to reduce the errors of results, fuzzy treatment was adopted and structure treatment was conducted. In result, the composite weight of strategic objective level, of constraint level, of measurement level as well as alternative level were completed and its corresponding priorities were set up. (See pp. 61—67)