

几种类型电站锅炉排烟中氮氧化物的评价*

邹延甫 孔渝华

(湖北省电力试验研究所) (湖北省化学研究所)

一、前 言

燃料在电站锅炉中燃烧后产生大量排烟,在排烟中除含有粉尘、 SO_2 以外,还有 NO_x 成为污染大气的三害。特别在使用多灰份、高硫、劣质燃料时,采用常规的高温燃烧技术对大气的污染更为严重。目前国外广泛采用高效除尘、高烟囱扩散及燃料和排烟脱硫等措施,排烟中粉尘和 SO_2 对大气污染的危害已渐趋和缓,而对 NO_x 目前还没有找到彻底根治的方法。

有关燃料脱氮和排烟脱硝技术^[1]现在用得较多的是催化还原法,即用 NH_3 等作还原剂,将 NO_x 转变为 N_2 ,然后排入大气中。但是由于 NH_3 的耗量大,故实用受到很大限制。采用活性最好的铂催化剂,高温下 NO_2 的分解速度仍然有限,也不具备实用价值。

我们对武昌电厂 75 吨/小时立式旋风炉(维持原工艺流程不变,只是在燃煤中渗入一定比例的添加剂)、青山热电厂一台 230 吨/小时干态排渣煤粉炉、一台 410 吨/小时燃油炉及一台 670 吨/小时燃油炉的排烟氮氧化物含量进行了测定。对取得的数据加以分析,认为可以通过改进运行操作来降低 NO_x 的排放。

二、 NO_x 的生成机理

在燃烧过程中, NO_x 的生成机理^[2-5]可分为热力型和燃料型两种。

热力型,即在燃烧过程中,空气中的 O_2 在高温下离解成氧原子,当温度超过 1538°C

时,氧原子有足够能量去分裂 $\text{N}-\text{N}$ 键,生成 NO 并放出 N_2 ,而 N_2 又很容易与 O_2 进一步

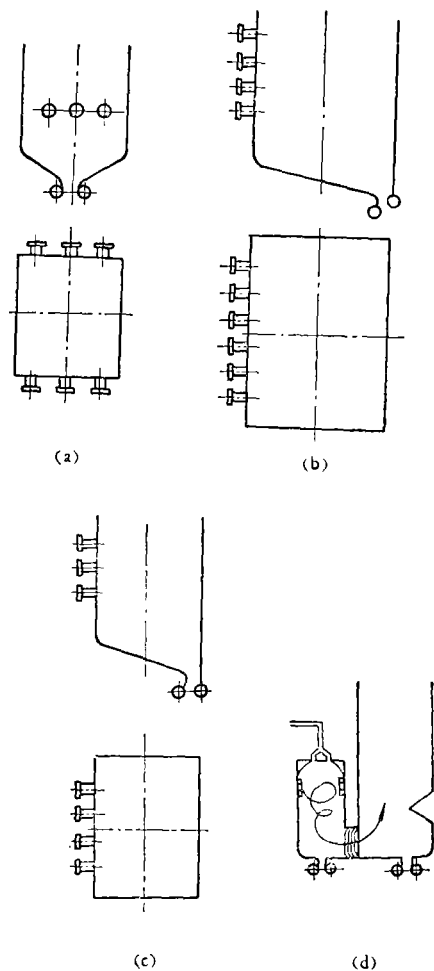


图1 锅炉燃烧器布置

a. HG-230/100-2 b. DG-670/140-3
c. WGZ-410/100-2 d. BTN立式旋风炉

* 参加本项工作的还有马忠敏、薛振华、杨盛。

生成 NO。这一链锁反应随着温度的升高而迅速增加。若火焰温度低于 1538℃ 时,能与 N₂ 生成 NO 的氧原子几乎可以忽略不计,故生成热力型 NO_x 极少。热力型 NO_x 的生成量还与燃烧烟气在高温燃烧火焰中的停留时间有关,停留时间越长,NO_x 生成量越多。因此影响热力型 NO_x 的因素主要有火焰温度。过剩氧量及热烟气在高温区的停留时间。

燃料型 NO_x 的生成主要是由于燃料中有机氮化物的存在,其中氮在较低温度下(600—900℃)即可热解成各种氰基化合物,

当有过剩氧时,便很快转化成 NO_x。因而燃料型 NO_x 的生成量主要取决于燃料含氮量、空气过剩氧量及停留时间,而与温度的关系不大。

三、锅炉主要设计参数及燃烧器布置

试验选用的几种类型锅炉的主要设计参数列于表1;燃烧器布置方式如图 1 所示。

被测烟气的含氧量、二氧化碳量及一氧化碳量用奥氏分析器取样(在测定 NO_x 的同一取样点)分析。排烟取样点除两台燃油锅炉系在过热器后之外,其它锅炉均在低温段

表 1 锅炉主要设计参数

厂 名	青 山 热 电 厂			武昌发电厂
锅炉编号	N6 炉	N11 炉	N10 炉	N301 炉
锅炉型号	HG-230/100-2	DG-670/140-5	WGZ-410/100-2	BTN 立式旋风炉
额定蒸发量 (T/hr)	230	670	410	75
过热蒸汽压力 (kg/cm ²)	100	140	100	40
过热蒸汽温度(℃)	510	540	540	400
再热蒸汽流量 (T/hr)	—	579	—	—
再热蒸汽压力 (kg/cm ²)	—	25.5	—	—
再热蒸汽温度(℃)	—	540	—	—
给水温度(℃)	200	240	227	120
热风温度(℃)	400	254	300	400
排烟温度(℃)	220	160	180	157
炉膛断面热负荷 (kc/m ² · hr)	—	43.6×10 ⁴	15.8×10 ⁴	—
燃料种类	平顶山原煤加新密煤	渣 油	渣 油	鄖阳劣质煤
制粉系统	钢球磨中间储仓热风送粉	回油、简单机械雾化	回油、简单机械雾化	钢球磨中间储仓热风送粉
主火嘴布置及燃烧方式	两侧墙各布置 3 只煤粉燃烧器,悬浮燃烧方式	前墙分四层布置 24 只油喷嘴	前墙分三层布置 12 只油喷嘴	立式前置炉旋风燃烧方式
通风方式	平衡通风	微 正 压	微 正 压	前置炉微正压二次室平衡通风
除渣方式	干式除渣	—	—	液态除渣
烟囱高度 (m)	100	150	150	50
烟囱所属锅炉台数	三台炉公用	三台炉公用	三台炉公用	本炉专用

空气预热器后。

旋风炉的炉膛中心温度以钨铼热电偶测得，其它各类锅炉的炉膛中心温度均以校验过的光学高温计测得。其它有关参数取自锅炉仪表盘记录。

被测锅炉的排烟量系根据燃料量及过剩空气系数算得。

为了便于对试验结果进行比较，用燃煤锅炉燃烧调整试验^[6]所述方法，对所有被测锅炉进行测定和数据整理。

四、NO_x 的采样与分析方法

NO_x 的采样系统如图 2 所示。在除尘管后 A 点取样。分析用 B. E. Saltzman 比色法^[7]。试样用盐酸萘乙二胺溶液直接吸收显

色，在分光光度计上比色即可测得 NO₂ 的浓度 (ppm)；样品通过 CrO₃-砂子氧化管氧化后，用盐酸萘乙二胺溶液吸收比色可得到 NO_x 的浓度 (ppm)。两者之差就是 NO 的浓度。本方法的相对误差在 5—10%。

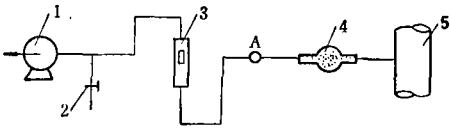


图 2 NO_x 的测量系统
1. 取样泵 2. 螺旋夹 3. 流量计 4. 除尘管 5. 锅炉烟道

五、测定工况及测定结果

各类锅炉的测定工况如表 2 所示。在测

表 2 测定工况（按时间平均）

锅炉编号 测量工况	N6 炉	N11 炉	N10 炉	N301 炉	
使用燃料种类	燃 煤	燃 油	燃 油	燃 煤	煤:添加剂=100:16.7
锅炉负荷 (T/hr)	184	488	302	79.5	71.3
过热蒸汽压力 (kg/cm ²)	93.7	101	90	33.6	33.9
过热蒸汽温度(℃)	505	530	526	405	400
再热蒸汽流量 (T/hr)	—	421	—	—	—
再热蒸汽压力 (kg/cm ²)	—	25	—	—	—
再热蒸汽温度(℃)	—	530	—	—	—
给水温度(℃)	200	190	200	130	132
燃料元素分析					
工作基成份(%) C ^y	—	85.4	85.4	65.07	54.22
H ^y	—	11.85	11.85	3.00	2.64
O ^y	—	0	0	5.98	6.52
S ^y	—	0.55	0.55	—	0.31
N ^y	—	0.889	0.889	0.69	0.93
W ^y	9.12	0.06	0.06	5.40	6.90
A ^y	30.99	0.058	0.058	19.87	29.86
Q _{d.w} ^y (kc/kg)	4672	9851	9851	6073	4650
可燃基挥发份 V ^r (%)	25.13	—	—	13.19	—

定过程中锅炉运行工况比较稳定。锅炉负荷实际偏差 < 2%；蒸汽压力实际偏差 < 1.5%；蒸汽温度实际偏差 < 1%。

各类锅炉排烟氮氧化物含量、排烟含氧量、二氧化碳量、一氧化碳量、炉膛温度及有关计算量的平均结果列于表 3。表 3 中所列数据为 3—8 次测定(每隔 30 分钟测一次)的平均值。

六、对测定结果的分析

从国外某些类型锅炉实际的 NO_x 排放数值^[1,2,4,5,8,9](表 4) 及我国允许的 NO_x 排放标准值(表 5)可以看出。

1. 与国外某些类型锅炉的排烟 NO_x 数值相比,除了燃油锅炉排烟 NO_x 数值相差较远外(原因见后),其它各类燃煤锅炉的排烟 NO_x 数值比较接近,基本符合规律。

2. N6 炉单独使用 100 米烟囱, NO_x 排放量略低于排放标准; N301 炉在燃煤中加添加剂附烧水泥掺合渣工况下,以及 N10 炉单独使用 150 米烟囱时, NO_x 排放量略为超标;其它类锅炉超标幅度较大。尤其是 N10、N11 燃油锅炉,负荷分别为额定负荷的 74% 和 73%,而用风量并未相应降低,排烟过剩空气系数分别达到 1.38 和 1.52,以致排烟 NO_x 值比燃煤锅炉还要高。问题的严重性还

表 3 测定、计算结果

锅炉编号						
参 数		N6 炉	N11 炉	N10 炉	N301 炉	
使用燃料种类		燃 煤	燃 油	燃 油	燃 煤	煤:添加剂=100:16.7
排烟含氧量(%)		7.6	4.26	5.92	8	7.3
排烟二氧化碳量(%)		11.54	12.67	11.78	12	13.7
排烟一氧化碳量 (ppm)		0	200	240	224	78
排烟过剩空气系数		1.517	1.251	1.376	1.52	1.49
炉膛温度(℃)		1353	1607	1545	1738	1609
排烟 NO _x 浓度 (ppm)		442	724	675	634	348
排烟 NO ₂ 浓度 (ppm)		17	121	85	133	36
排烟流量(标 m ³ /hr)		22×10 ⁴	53.1×10 ⁴	28.54×10 ⁴	10.22×10 ⁴	10.14×10 ⁴
NO _x 的小时排放量(kg/hr)		200	790	396	133	73
烟囱高度 (m)		100	150	150	50	50
允许 NO _x 排放量 (kg/hr)*		230	320	320	55	55
锅炉所属烟囱内						
一台炉运行	NO _x 排放量 (kg/hr)	200	790	396	133	73
	超标倍数	-0.13	+1.47	+0.24	+1.42	+0.33
二台炉运行	NO _x 排放量 (kg/hr)	400	N11 + N10 1186	N10 + N9 792		
	超标倍数	+0.74	+2.71	+1.48		
三台炉运行	NO _x 排放量 (kg/hr)	600	1582	1582		
	超标倍数	+1.61	+3.94	+3.94		

* 参见表 5。

表 4 国外某些类型锅炉的 NO_x 排放值 (ppm)

特 性 \ 锅炉制造国、 厂名称	拔柏葛-威尔 考克公司	佛斯特-惠 勒公司	燃烧工程公司 (英国)	西 德	苏 联	日 本
燃煤、干炉底、单面布置燃烧 器, O ₂ = 3%	530	600	300—325		511	300
燃煤、干炉底、双面布置燃烧 器, O ₂ = 3%	400	400				413
燃煤, 液态排渣 O ₂ = 5%				630—980		
燃煤, 旋风炉	775—1000			800—1500	750—930	
燃用原油						242
燃用重油 O ₂ = 3%				315	343—858*	280
燃用天然气 O ₂ = 3%				200—135		160

* 已换算到 O₂ = 3% 状态.

表 5 我国允许的 NO_x 排放标准*

排放筒高度 (m)	20	40	50**	60	80	100	150***
排 放 量 (kg/hr)	12	37	55	86	160	230	320

* 本标准系针对化工企业订出;

** 排放筒高度为 50 米的 NO_x 排放量为内插值;

*** 排放筒高度为 150 米的 NO_x 排放量为外推值.

在于不仅这两台燃油炉本身超标, 若三台炉均运行 (共用一座 150 米烟囱), 则该烟囱每小时 NO_x 总排放量将超标 3.9 倍之多.

3. 两台燃油锅炉燃用同一种油, 燃料含氮量相同, 在炉膛过剩氧十分充足的条件下, N11 炉排烟 NO_x 比 N10 炉大 7.3%. 这主要是 N11 炉炉膛断面热负荷大, 局部热负荷高, 整个炉子的炉温水平较高所致.

4. N301 立式旋风炉在单纯烧煤工况下, NO_x 排放值比侧墙布置燃烧器、干排渣的 N6 煤粉炉大 43%, 即前者为 634 ppm, 后者为 442ppm.

5. 作为旋风燃烧方式的 N301 炉, 燃煤中加入添加剂附烧水泥掺合渣工况与单纯烧煤工况比较, NO_x 排放浓度可由 634ppm 降至 348ppm, 即降低幅度达 45%. 由此可见, 旋风炉采用煤加添加剂混烧对降低排烟 NO_x 的污染是有明显效果的.

6. 对各类电站燃煤、燃油锅炉如注意改进运行操作 (例如保持较低过剩空气系数, 注意分级配风等) 仍有降低排烟 NO_x 浓度的潜力可挖.

参 考 文 献

[1] 池道弘茂, 石田耕司, 原子力火力发电, 7, 706, (1979).
[2] 张开达编译, 技术交流, 3, 60, (1978).
[3] 井上市郎, 化学技术志 MOL, 12, 10, p1, (1974).
[4] Цирульников Л. М 等, Теплоэнергетика, 4, 74, (1978).
[5] Глебов, В. П 等 Теплоэнергетика, 10, p5 (1972).
[6] 西安热工所、东北电力技术改进局编, 燃煤锅炉燃烧调整试验方法, p 344, 水利电力出版社, 北京, (1974).
[7] B. E. Saltzman., Anal Chem., 26, (1954).
[8] 工业“三废”排放试行标准, GBJ 4—73, 北京, (1973).
[9] Tarep C. A 等, Теплоэнергетика, 8, 50, (1975).