

# 流化床煤燃烧中氮氧化物的生成机理

冯波 林志杰 袁建伟 蔡学军 刘德昌

(华中理工大学)

[摘要]在一个流化床反应器和一个固定床反应器中研究了流化床煤燃烧中 $N_2O$ 及 $NO_x$ 生成的机理。发现流化床煤燃烧中 $N_2O$ 和 $NO_x$ 主要来自于煤中的氮,即挥发分氮和焦炭氮,部分 $NO_x$ 来自于空气中的 $N_2$ 。挥发分氮主要以两种形式 $HCN$ 和 $NH_3$ 均相反应生成 $N_2O$ 和 $NO_x$ ;焦炭氮则以多种多相反应方式生成 $N_2O$ 和 $NO_x$ 。 $N_2O$ 与 $NO_x$ 的消减机理有很大的区别。 $N_2O$ 主要通过为氢原子和氧原子的还原的反应、床层中各种固态物质的催化还原及自身的热分解而减少。 $NO_x$ 则通过在固态物质催化下与 $CO$ 、 $H_2$ 、 $NH_3$ 和焦炭的反应而减少。

关键词 流化床反应器 流化床燃烧 氮氧化物 固定床反应器

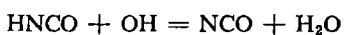
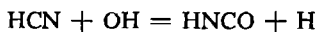
分类号 TK224.11

## 1 前言

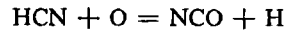
由于 $N_2O$ 被发现为一种破坏大气臭氧层及产生温室效应气体,有较大 $N_2O$ 排放浓度(100—400 ppm)的流化床煤燃烧中 $N_2O$ 的生成与分解机理和 $NO_x$ 一样受到了重视。

A. N. Hayhurst<sup>[1]</sup>和M. D. Mann<sup>[2]</sup>对近几年 $N_2O$ 的研究进行了综述。 $N_2O$ 的分解反应主要为 $N_2O + H = N_2 + OH$ 及 $N_2O + OH = N_2 + HO_2$ ,高温下产生大量H及OH导致 $N_2O$ 分解加快。

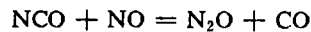
化学反应机理模型研究表明,在气相中, $N_2O$ 由 $HCN$ 和 $NH_3$ 生成,它们由煤析出挥发分而来。 $HCH$ 可转化为 $NH_3$ ,又可由以下反应生成 $HNCO$ 和 $NCO$ <sup>[3]</sup>:



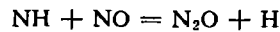
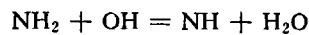
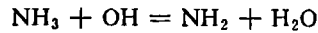
或



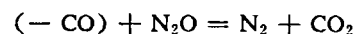
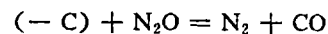
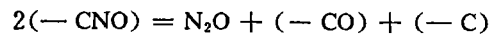
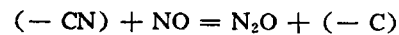
然后 $NCO$ 再与 $NO$ 反应生成 $N_2O$ <sup>[3]</sup>



$NH_3$ 物质的反应则是先生成 $NH$ ,然后与 $NO$ 反应产生 $N_2O$ :



当存在固相如煤、焦炭、砂或石灰石时,有一系列的产生与分解 $N_2O$ 反应<sup>[4]</sup>。煤和焦炭产生活性(-C)和(-CN)粒子, $N_2O$ 则通过它们生成与分解:



\* 国家自然科学基金和国家攀登计划资助项目

收稿日期 1994-03-04

本文联系人 林志杰 男 1936年生 教授 430074 武汉华中理工大学煤燃烧国家重点实验室

尽管如上所述已取得一些研究成果,然而对  $N_2O$  在流化床燃烧中的产生和分解机理还了解甚少。本文在一个流化床反应器上研究了煤在燃烧过程中  $N_2O$  及  $NO_x$  的生成规律,在一个固定床反应器上研究了  $NO$  在焦炭表面的还原以及  $NO$  和  $N_2O$  在其它各种固态物质表面的反应,还有焦炭燃烧过程中  $NO_x$  和  $N_2O$  生成,  $NH_3$  的氧化反应。提出了一个流化床煤燃烧中  $N_2O$  及  $NO_x$  生成与分解的模型。

## 2 试验结果与讨论

试验在一个流化床反应器和一个固定床反应器上进行。两个试验装置图可分别见文献[5]和[6]。试验中同时监测  $O_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $NO_x$  和  $N_2O$  的浓度,  $O_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  和  $NO_x$  用专用仪器分别连续测量,  $N_2O$  用带电子捕获器的色谱仪(GC - ECD) 间断测量。

### 2.1 煤燃烧中氮氧化物生成

将 3.0 g 平顶山烟煤一次性加入流化床反应器中,温度为  $900^\circ C$  时测得随时间变化  $N_2O$  及  $NO_x$  的排放浓度如图 1 所示。由图可见,在约 200 S 之前,对  $N_2O$  和  $NO_x$  均有一明

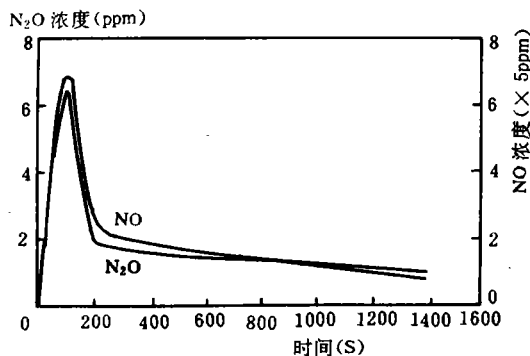


图 1 煤燃烧过程中  $N_2O$  和  $NO_x$  浓度的变化

显的峰值,而在 200 S 之后两者排放浓度逐步下降。因此两条曲线可在 200 S 前后划分为两个部分,前一部分相应于挥发分燃烧,后一部分相应于焦炭燃烧。由于是批式燃烧,因而在挥发分燃烧中  $N_2O$  为焦炭还原的可能性很小,这样在挥发分燃烧和焦炭燃烧的过程中放出的  $N_2O$  摩尔数可通过计算图 1 中两部分曲线下的面积乘以流化空气的容积流速而得。

从图上可以看出,对  $N_2O$  这两部分的面积之比约为 50%:50%,即由挥发分和焦炭生成的  $N_2O$  量大致相当,对  $NO_x$  其比约为 80%:20%,这说明挥发分燃烧对  $NO_x$  生成更重要。然而 Hayhurst 等<sup>[1]</sup> 发现对于褐煤,挥发分产生的  $N_2O$  可占总量的 80% 以上,这是由于褐煤含更多的挥发分和挥发分含氮物质。Amand<sup>[5]</sup> 和 De Soete<sup>[4]</sup> 的结果也表明挥发分的燃烧比焦炭的氧化产生更多的  $N_2O$ 。Amand 在 120 MW 锅炉床温为  $800 - 900^\circ C$  完全燃烧烟煤颗粒时,发现转化为  $N_2O$  的燃料氮的转化率为 (10 - 15)%。De Soete 在固定床试验中则发现转化为  $N_2O$  的转化率仅为 (2 - 5)%。

最近, Tullin 等<sup>[7]</sup> 的研究支持了我们的结果。他们发现焦炭氮比挥发分氮对  $N_2O$  和  $NO_x$  的贡献都大,而且氧量增大时  $NO$  浓度下降同时  $N_2O$  生成增加。这说明对于流化床燃烧中挥发分氮和焦炭氮对  $N_2O$  和  $NO_x$  生成的贡献还有待进一步研究。但可以确定的是,挥发分氮主要以两种形式,即  $HCN$  和  $NH_3$ , 存在并反应生成  $N_2O$  和  $NO_x$ , 因此必须研究这两种物质在火焰中的反应。本文研究了  $NH_3$  的氧化反应。

### 2.2 $NH_3$ 的氧化反应

将  $NH_3/O_2/N_2$  通入固定床反应器,监测反应器出口  $NO_x$ 、 $N_2O$  浓度随反应温度的变化示于图 2。试验结果与化学反应动力学模拟结果进行了比较。由图可见,  $NH_3$  氧化的主

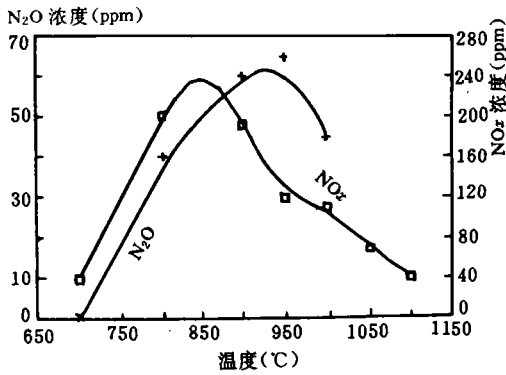


图 2 NH<sub>3</sub> 氧化反应中氮氧化物的生成

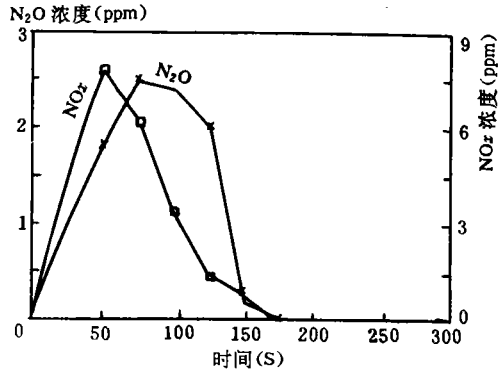


图 3 焦炭燃烧过程中氮氧化物的生成

要产物是 NO<sub>x</sub>, 且随温度升高其浓度迅速增加, 这一方面是由于温度升高后反应速度加快, 另一方面是温度型 NO<sub>x</sub> 产生量增加; N<sub>2</sub>O 浓度则在 900°C 左右有一峰值, 在此温度前后其浓度均降低。化学动力学模拟表明, 这是由于在 900°C 左右, N<sub>2</sub>O 生成与分解反应达到了平衡, 900°C 之后, N<sub>2</sub>O 分解速度大大增加, 使得其浓度下降。这个结果也表明, 喷氨脱硝(NO<sub>x</sub>) 方法应用是有前提的, 即必须在还原性气氛下, 在氧化性气氛下, 其浓度(NO<sub>x</sub>) 在喷氨后反增加, 这间接证实了袁建伟等<sup>[6]</sup> 的结果。

### 2.3 焦炭的氧化

前面已发现, 焦炭氮对 NO<sub>x</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的生成有较大的贡献, 焦炭的直接燃烧是焦炭氮的转化途径之一。

将在不同温度下制得的焦炭(3.5g) 在固定床中在 900°C 温度下燃烧, 测得 NO<sub>x</sub>、N<sub>2</sub>O 的浓度随时间的关系示于图 3。焦炭氮转化为 NO<sub>x</sub> 的份额大于转化为 N<sub>2</sub>O 的份额。焦炭燃烧过程中发现 NO<sub>x</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的排放近似正比于 CO 和 CO<sub>2</sub> 的浓度, 即当假定焦炭中氮原子和碳原子均匀分布时, 焦炭中原子氮的消耗速率正比于碳原子的消耗速率, 即:

$$\frac{dN(\text{char})}{dt} = a \frac{dC(\text{char})}{dt}$$

图中两条曲线下的面积乘以气体流率分别为

焦炭燃烧中产生的 N<sub>2</sub>O 和 NO<sub>x</sub> 的摩尔数, 与原焦炭中的含氮量相比较则为焦炭氮转化为 N<sub>2</sub>O 和 NO<sub>x</sub> 的份额, 本试验条件下其值分别为 30% (N → NO<sub>x</sub>) 和 5% (N → N<sub>2</sub>O)。

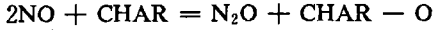
试验还发现, 燃烧在较高温度下制得的焦炭比燃烧在相对较低的温度下制得的焦炭产生的 N<sub>2</sub>O 和 NO<sub>x</sub> 要高, 而转化率没有很大的变化。这说明了挥发分燃烧的重要性。也就是说挥发分燃烧和焦炭燃烧都是产生 N<sub>2</sub>O 和 NO<sub>x</sub> 的重要来源, 都需要进行仔细的研究。

### 2.4 NO 在焦炭表面的还原

除了焦炭的直接燃烧, NO 在焦炭表面的还原也可能是 N<sub>2</sub>O 产生的一个来源, 下面的试验证实了这一点。

将一定浓度的 NO(1042 ppm/N<sub>2</sub>) 通入以焦炭为床料的固定床反应器中, 出口的 NO<sub>x</sub> 的 N<sub>2</sub>O 浓度与反应器温度的关系如图 4 所示。随温度升高, NO<sub>x</sub> 浓度稍有下降, 考虑到由于 N<sub>2</sub> 的存在而产生了热力 NO<sub>x</sub>, 可以认为 NO<sub>x</sub> 在焦炭表面有所分解, 同时观察到一定量的 N<sub>2</sub>O 产生。这揭示了一种新的 N<sub>2</sub>O 多相产生机理。Guiyurtlu 等<sup>[9]</sup> 将 N<sub>2</sub>O 和 NO 的混合物(333 和 367ppm 在 Ar 中) 通入焦炭为床料的反应器中后发现 NO 和 N<sub>2</sub>O 降低约

10%，而将NO(1 000 ppm/Ar)通入时发现只有10 ppm N<sub>2</sub>O生成。这表明N<sub>2</sub>O和NO在焦炭表面有与活性粒子的竞争反应：



Nochizuki<sup>[9]</sup>也观测到了这种反应，但是他发现仅当存在氧时才有N<sub>2</sub>O的生成，这与我们和De Soete<sup>[4]</sup>的结果不符，对此我们提出了NO在焦炭表面生成N<sub>2</sub>O的新的机理<sup>[6]</sup>。

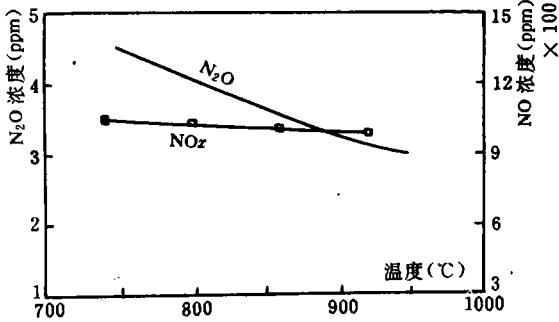


图 4 NO 在焦炭表面分解时 N<sub>2</sub>O 的生成

### 2.5 在各种固态粒子表面氮氧化物的反应

流化床中存在的各种固态物质如石英砂、石灰石、CaSO<sub>4</sub>和飞灰以及灰中和尾部烟道中存在的MgSO<sub>4</sub>、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>等对N<sub>2</sub>O的热分解有较大的催化作用，如图5所示。其中以CaO的催化作用最强，CaSO<sub>2</sub>和飞灰等的催化作用也较强，这表明N<sub>2</sub>O排放量较大的流化床燃烧中产生的N<sub>2</sub>O量大于其排放值。Kilpinen等<sup>[11]</sup>的未考虑多相反应的

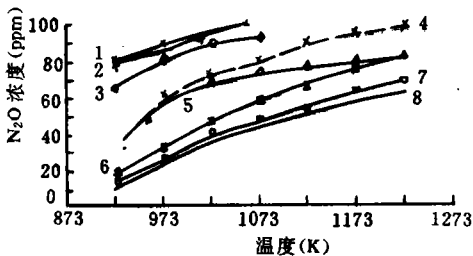


图 5 各种固态物质对 N<sub>2</sub>O 的分解

- 1. CaO    2. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>    3. CaSO<sub>4</sub>    4. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 5. SiO<sub>2</sub>    6. MgSO<sub>4</sub>    7. MgO    8. 空管

N<sub>2</sub>O生成与分解模拟研究却未发现较大的N<sub>2</sub>O排放值，这说明流化床燃烧中N<sub>2</sub>O生成与分解的机理还有待于更深入的研究，特别是均相反应机理与多相反应机理的关系方面。固态物质对NO<sub>x</sub>浓度无较大影响，但值得注意的是CaO和CaSO<sub>4</sub>使NO<sub>x</sub>浓度有所上升(在流化床燃烧试验中发现)，这说明流化床燃烧中各种污染物质如SO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>的排放是相互关联的，应一起进行研究。

### 2.6 机理讨论

煤燃烧过程可分为挥发分燃烧和焦炭燃烧这两个独立的过程，尽管有时这两个过程难以明确划分。煤燃烧过程中N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>的生成亦相应划分为挥发分中含氮物质的均相反应和焦炭燃烧中的多相反应两个部分。试验已经表明，挥发分燃烧过程和焦炭燃烧过程都产生大量的氮氧化物。对某些煤种，挥发分燃烧中HCN和NH<sub>3</sub>的均相反应是氮氧化物产生的主要途径。

Hulgaard等<sup>[12]</sup>在一流动反应器中研究了HCN的氧化，发现有较多N<sub>2</sub>O生成。HCN氧化的化学动力学模拟结果与实验结果基本符合表明，HCN是N<sub>2</sub>O生成的一个重要来源，其转化为N<sub>2</sub>O的转化率大大超过NH<sub>3</sub>的转化率。这可以解释燃烧试验发现的烟煤产生的N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>高于褐煤的产生量，因为烟煤中挥发分主要以HCN形式存在，而褐煤的挥发分氮主要以NH<sub>3</sub>的形式析出。

NH<sub>3</sub>的氧化生成大量的NO<sub>x</sub>和一定量的N<sub>2</sub>O，也是挥发分燃烧中氮氧化物产生的重要来源之一。在挥发分燃烧中，HCN和NH<sub>3</sub>可能发生互相转化，特别是NCN → NH<sub>3</sub>的转化，一旦发生这种转化，氮在N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>之间的分配就改变了。显然，如果HCN → NH<sub>3</sub>，将导致N<sub>2</sub>O降低而NO<sub>x</sub>上升。

前面试验已经发现，N<sub>2</sub>O的多相生成有以下几个途径：

- (1) 焦炭的燃烧。焦炭与氧的反应已证

实可生成  $N_2O$  和  $NO_x$ , 这是由于氧分子或氧原子与焦炭中的活性粒子反应, 生成并同时分解  $N_2O$ 。

(2)  $NO$  在焦炭表面的还原。 $NO$  在焦炭表面减少的同时观察到  $N_2O$  的生成, 这是由于一方面  $NO$  先吸附于焦炭表面, 然后与随后吸附的另一  $NO$  反应为  $N_2O$ ; 此外,  $NO$  也与焦炭中的  $(-C)$  及  $(-CN)$  等反应生成  $N_2O$ 。

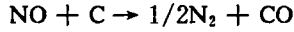
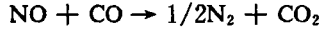
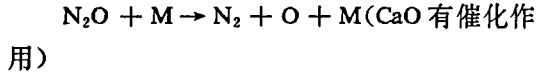
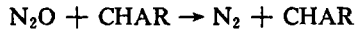
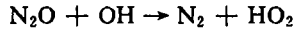
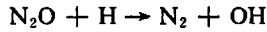
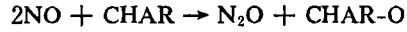
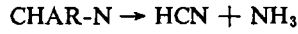
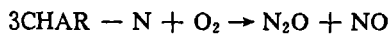
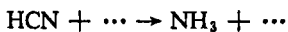
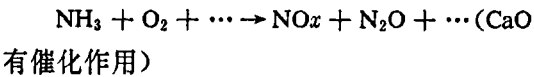
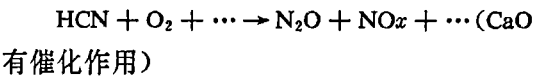
(3) 各种固态物质对  $NH_3$  氧化和  $HCN$  氧化的影响。大部分固态物质对  $HCN$  和  $NH_3$  的氧化有一定的催化作用, 这使得石灰石的加入增加了  $NO_x$  排放, 同时由于石灰石和焦炭对  $N_2O$  分解的强烈的催化作用, 这也使得  $NO_x$  排放增加同时  $N_2O$  排放减少。

(4) 焦炭气化为  $HCH$  和  $NH_3$ , 然后进一步反应生成氮氧化物。这种途径目前还无人研究, 但作者认为这可能是一种重要的  $N_2O$  和  $NO_x$  来源。因为通过前几种已研究的多相途径来看, 都不足以说明焦炭在燃烧中产生的  $N_2O$  量, 这表明另外还有其它的反应途径, 焦炭氮的气化可能就是一种。

(5) 其它途径

尽管将氮氧化物生成人为分成均相反应和多相反应两个部分, 实际上在粒子浓度较大的流化床中很少有单纯的均相反应, 在各种粒子作用下, 许多反应由于: 一方面  $O、H$  等基元在粒子表面复合, 另一方面粒子有催化或阻碍作用而受到了影响。

综上所述, 流化床煤燃烧过程中  $N_2O$  和  $NO_x$  的生成与分解模型如图 6 所示。重要的几个生成与分解反应如下:



(... 代表未知反应物)

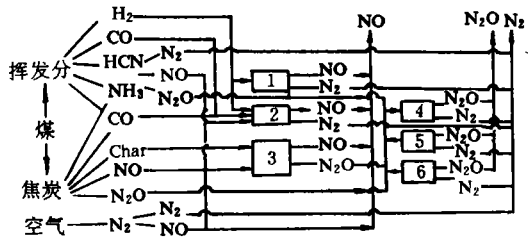


图 6 流化床煤燃烧中  $N_2O$  和  $NO_x$  的生成机理

- 1. 在 CaO 表面  $NO$  为  $H_2$  分解
- 2. 在焦炭表面  $NO$  为  $CO、H_2$  分解
- 3. 在焦炭表面  $NO$  分解
- 4.  $N_2O$  热分解
- 5. 在固态物质表面  $N_2O$  分解
- 6.  $N_2O$  为  $H$  和  $OH$  原子分解

可见,  $N_2O$  和  $NO_x$  是相互关联的, 而且很多情况下两者是相互竞争的。甚至  $SO_2$  通过  $CaO、CaSO_4$  的存在介入了这个反应系统, 这充分说明, 在研究流化床煤燃烧过程中的污染物排放时, 应同时对  $N_2O、NO_x$  和  $SO_2$  进行测量。

参 考 文 献

1 Hayhurst A N, Lawrence A D. Emissions of nitrous oxide from combustion sources. Prog. Energy Combust. Sci., 1992, Vol 18, 529-552

- 2 Mann M D, Collings M E, Rotros P E. Nitrous oxide emissions in fluidized bed combustion; Fundamental chemistry and combustion testing. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 1992, Vol 18, 447—461
- 3 Kramlich J C, Cole J A, McCarthy J M, et al. Mechanisms of nitrous oxide formation in coal flames, *Combust. Flame* 1989, 77: 375-382
- 4 De Soete. Heterogeneous N<sub>2</sub>O and NO formation from nitrogen atoms during coal char combustion. 23rd Symp. (intl.) On Combustion, 1990: 1257-1263
- 5 冯波,林志杰,蔡学军,袁建伟,刘德昌. 流化床燃烧中 N<sub>2</sub>O 排放的试验研究. 第六届全国流态化会议论文集, 武汉. 1993
- 6 冯波,袁建伟,林志杰,蔡学军,刘德昌. 流化床燃烧工况下 N<sub>2</sub>O 排放的试验研究. 华中理工大学学报增刊, 1994
- 7 Tullin C J, Sarofim A F and Beer J M. Formation of NO and N<sub>2</sub>O coal combustion; The relative importance of volatile and char nitrogen. *Proceedings of 12th Intl. Conf. FBC*, 1993, 599-609
- 8 袁建伟,成濑一郎,大竹一友. 燃煤烟气中喷氨脱硝对氧化亚氮生成的影响, 华中理工大学学报, 1993(12): 40~44
- 9 Gulyurtlu I, Costa M R, Esparteiro H and Cabrita I. The homogeneous and heterogeneous reactions involving N<sub>2</sub>O and NOx during fluidized combustion of coal particles, 5th Intl. Fluidized Bed Conference, 1991: 201-206
- 10 Mochizuki M, Koike J, Horio M. The mechanisms of nitrous oxide formation from fluidized bed char combustion *Proceedings of 5th Intl. Workshop on Nitrous Oxide Emissions*, Tsukuba, 1992
- 11 Kilpinen P and Hupa M. Homogeneous N<sub>2</sub>O chemistry at fluidized bed combustion conditions; A kinetic modelling study. *combust. Flame*, 1991, 35, 94-105
- 12 Hulgaard T and Glarborg. Homogeneous formation and destruction of N<sub>2</sub>O at fluidized bed combustion conditions, *Proceedings of 11th Intl. Conf. FBC* 1991, 991-998

## 我国首座火炬气燃机热电站投产

1995年5月30日座落在广州石化总厂的一台燃气轮机热电站以优良的建设质量通过验收,交付营运。这是我国第一台使用炼油厂火炬气作为燃气轮机燃料的热电联供电站,它用WT6G1燃气轮机作为动力。该电站由中国轻型燃气轮机中心牵头,由中国南方航空动力机械公司负责设计、安装和调试。

该电站预计一年内将回收1260万m<sup>3</sup>火炬气,向广州石化总厂供电2520万kW·h,供应10个大气压的过热蒸汽8.4万吨。预计一年内除上缴税款外,还能回收1600万元的总投资。

这座电站将成为我国燃气轮机应用开发的一个新里程碑,它对石化行业推广应用燃气轮机,进一步节能降耗,对轻型燃气轮机产业的发展都将起到重要作用。

火炬是石油化工和炼油生产过程中的副产品,在生产流程中剩余的瓦斯要从储气柜排放空中燃烧,从而形成一个日夜燃烧的大火炬。火炬气组份及热值含量变化大,烯烃及重组份含量较多,腐蚀性很强的硫化氢含量远远超过燃气标准,是燃气轮机的“高热值粗粮”。

为了发挥航空优势,搞好能源综合利用,拓展燃气轮机的应用范围,1993年,根据广州石化总厂火炬气量,确定选用两台南方公司2兆瓦WJ6G1燃气轮机,配两台异步发动机和两台余热锅炉的方案。

南方公司于1994年1月开始电站的设计,按照用户要求采用规范的标准,对燃气涡轮叶片采用了四元防腐涂层,采用了606所GK—02数字电调、614所喷油螺杆燃气增压装置、634所的燃气阀,从而把成套设备的水平提高了一大步。

(陈炳贻 供稿)

(CWM) of High Concentration and Its Effect on Flow Characteristics in Pipes [刊,中]/Meng LingJie (Shandong Polytechnical University), Zhang Mingyao (Southeastern University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):85~88

By combining theoretical analysis with experimental research discussed is the slip phenomenon of coal water mixture (CWM) of high concentration flowing in pipes. An analysis is given of the effect of "slip layer" on the flow characteristics of the CWM in pipes. The authors have also come up with a new method for correcting the wall slip of CWM. flowing in pipes and obtaining a true rheological model of the CWM. **Key words:** coal water mixture, slip phenomenon, flow properties

流化床煤燃烧中氮氧化物的生成机理=A study on the Generation Mechanism of Nitrogen-Oxygen Compound During the Process of Fluidized Bed Coal Combustion [刊,中]/Feng Bo, Lin Zhijie, Yuan Jianwei, Cai Xuejun, Liu Dechang (Middle China University of Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):89~94

The generation mechanism of  $N_2O$  and  $NO_x$  during the process of fluidized bed coal combustion is studied in a fluidized bed reactor and a fixed bed reactor.  $N_2O$  and  $NO_x$  in the fluidized bed coal combustion are found to come mainly from the nitrogen in the coal, i. e. volatilization nitrogen and coke nitrogen, and  $NO_x$  is partly from the  $N_2$  in the air. The volatilization nitrogen is mainly in the form of HCN and  $NH_3$  to generate  $N_2O$  and  $NO_x$  by means of equal phase reaction, and the resultant of  $N_2O$  and  $NO_x$  from the coke nitrogen is by multi-phase reaction. The removing mechanism of  $N_2O$  is different from that of  $NO_x$ . The removal of  $N_2O$  is by means of the reduction reaction between the hydrogen atom and the oxygen atom, the catalysis-reduction of the solid state substance in the bed layer and self thermal decomposition, and the removal of  $NO_x$  is by means of the reaction with  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$  and coke under the catalysis of solid state substance. **Key words:** Fluidized Bed Reactor, Fluidized Bed Combustion, Nitrogen-Oxygen Compound

内循环流化床锅炉技术及发展前景=Internal Cycle Fluidized Bed Boiler Technology and Its Development Prospects [刊,中]/Wang Huaibin, Zhang Zidong, Dong Yong (Harbin Institute of Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):95~100

A definition is given of the internal cycle fluidized bed boiler along with an overview of the major contributions made by experts at home and abroad involved in the development of the said boiler. The authors hold that the above mentioned boiler will eventually be listed as a predominant product among industrial boilers. **Key words:** boiler, internal cycle, fluidized bed, overview

燃机应用于商船的现状和展望=The Present Status and Future Prospects of the Application of Gas Turbines for Merchant Ships [刊,中]/Zhang Hui(Harbin 703 Research Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(2):101~104

A general review is given of the developments and present status of marine gas turbines employed on board merchant ships. In this connection the merits of the gas turbines as against diesels are described. The prospects of the use of gas turbines for merchant vessels have also been briefly dealt with. **Key words:** gas turbine, power plant, merchant ship application

锅炉装置计算机监测优化控制系统=A Computer-based Monitoring and Optimized Control System for a Boiler Unit