

问题探讨

# 燃气轮机低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术探讨

赵昕

(中海海南发电有限公司, 海南海口 578001)

摘要: 通过对 NO<sub>x</sub> 生成机理的介绍, 分析了控制 NO<sub>x</sub> 各种方式的优劣, 介绍了 V94.2 燃气轮机通过燃烧室结构和燃烧方式优化来减少 NO<sub>x</sub> 生成。

关键词: 低 NO<sub>x</sub>; 燃烧; 燃机

中图分类号: X701

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2012)01-0047-03

海南发电有限公司采用的燃气轮机是德国 SIEMENS 公司生产的型号是 V94.2, 燃料是天然气, 型式为单轴、单缸、轴向排气、简单循环, 压气机为轴流式十六级带 I 级可调进气导叶, 燃烧室是两个侧立燃烧室, 透平四级, 采用十六个组合式天然气喷嘴。

表 1 燃气轮机基本参数表

	单位	基本负荷	尖峰负荷
燃料类型		天然气	天然气
低位发热量	kJ/kg	28400	28400
发电机轴端功率	MW	138.7	145.7
效率	%	32.5	32.7
透平进气温度(修正至 ISO2314)	℃	1060	1090
压气机压比		10.5	10.6
透平排气流量	kg/s	487	488
透平排气温度	℃	533	575
排气热量	kJ/kg	604	628
当量小时		1	4

燃气轮机基本参数如表 1 所示:

## 1 我厂燃气轮机特点

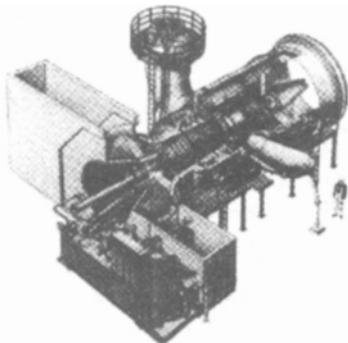


图 1 V94.2 燃气轮机结构图

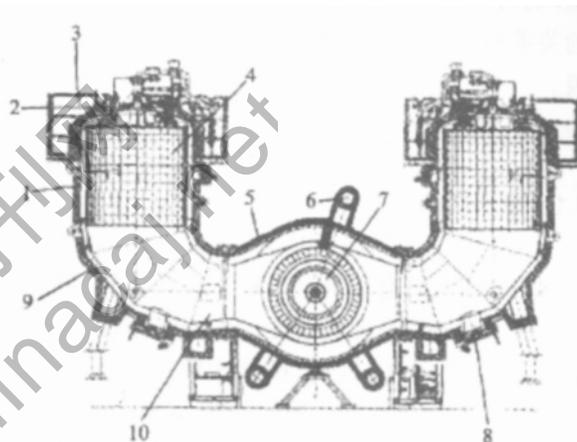


图 2 燃气轮机横截面视图

1-压力套; 2=燃烧器组件; 3-装有栏杆的平台; 4-火焰筒; 5-透平气缸; 6-通风管; 7-转子; 8-装有窥视窗的人孔; 9-供应燃烧空气的环形通道; 10-燃气通道

该燃气轮机的主要特点为左右一对大型筒型燃烧室置于透平气缸外侧, 每个燃烧室有 8 个燃烧器, 可以燃烧从低热值到高热值的多种燃料。结构如图 1 所示。2 个筒型燃烧室位于燃气轮机的左、右两侧, 并用螺栓固定在透平气缸的横向法兰上<sup>[1]</sup>。燃气轮机横截面视图如图 2 所示。

## 2 天然气燃烧生成 NO<sub>x</sub> 的机理

讨论 NO<sub>x</sub> 在燃烧中的生成机理时, 通常只考虑 NO 的生成机理。由于天然气中氮的含量很低, 燃烧过程所生成的燃料型 NO<sub>x</sub> 很少, 可忽略不计。因此对于天然气燃烧, 目前主要研究热力型 NO<sub>x</sub> 和快速型 NO<sub>x</sub> 的生成机理。

### 2.1 热力型 NO<sub>x</sub>

热力型 NO<sub>x</sub> 是空气中的 N<sub>2</sub> 在燃烧火焰的峰值温度下氧化而成, 对温度的依赖程度很大, NO<sub>x</sub>

的生成过程是一个不分支的连锁反应,根据 Arrhenius 定律,随着温度的升高,其反应速度按指数规律迅速增加。实验表明,在燃烧温度超过 1 500 °C 时,温度每增加 100 °C,反应速度将增大 6~7 倍。所以温度对这种 NO<sub>x</sub> 的生成具有决定性的影响<sup>[2]</sup>。

因此可用降低燃烧温度和防止局部高温区的产生、降低氧气浓度(减小过量空气系数)和缩短烟气在高温区的停留时间来抑制热力型 NO<sub>x</sub> 的生成量。

## 2.2 快速型 NO<sub>x</sub>

快速型 NO<sub>x</sub> 是燃料燃烧时空气中的 N<sub>2</sub> 生成 NO 的另一种类型,快速型 NO<sub>x</sub> 的生成量和温度的关系不大,且比热力型 NO<sub>x</sub> 生成量小一个数量级。

## 3 控制 NO<sub>x</sub> 方法介绍

### 3.1 喷水或蒸汽

无论是气体燃烧还是液体燃料的扩散燃烧,在火焰锋面上总有过量空气系数为 1,燃烧温度可以达到很高的理论燃烧温度,高于热 NO<sub>x</sub> 的起始生成温度 1 560 °C,因而,按照这种方式组织的燃烧过程,必然会产生数量较多的热 NO<sub>x</sub> 污染物<sup>[9]</sup>。

为了解决这类燃烧过程中 NO<sub>x</sub> 排放量超过环保要求的问题,采用了在高负荷条件下,向扩散燃烧的燃烧室中喷射一定数量的水或水蒸气的措施。这是虽然火焰区过量空气系数仍然等于 1,但掺入的水蒸气却从整体上降低了燃烧区的温度,从而一定程度的起到了抑制 NO<sub>x</sub> 生成的作用。

### 3.2 选择性催化还原反应器

SCR 法是一种对燃烧产物进行后处理以降低已生成的 NO<sub>x</sub> 数量的措施。方法是在催化剂的作用下向燃烧产物喷散氨水,使之与燃烧产物中的 NO 和 NO<sub>2</sub> 反应生成 N<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O。

这种方法的优点是 NO<sub>x</sub> 脱除效率很高。缺点是 1)投资费用高;2)催化反应器寿命为 4~8 年;3)不能燃用含硫量高的燃料,否则催化剂会中毒而失效;4)只能在负荷工况比较稳定的机组中使用,不能在变转速、变负荷较大的机组中使用。

### 3.3 采用分级燃烧方式扩大负荷的变化范围

采用串联式分级燃烧方式可以提高低负荷工况下一级燃烧区内的燃烧温度,并使气流的速度减小,有利于改善这些工况下 CO 的燃尽程度和

燃烧火焰的稳定性。在高负荷工况下,把均相预混可燃混合物的燃烧温度控制在 1 800 K 以下,就能达到控制 NO<sub>x</sub> 排放量的目的<sup>[4]</sup>。

采用并联式分级燃烧室中,可以设置许许多多彼此并联的燃烧区,每个燃烧区中也都分别供给一定数量的空气和燃料。它们的燃烧过程都是按均相预混可燃气体的火焰传播方式进行组织的,燃烧温度也被限定在 1 800 K 以下。因而,能够控制高负荷下的 NO<sub>x</sub> 排放量。

## 4 V94.2 燃气轮机燃烧特点

### 4.1 燃烧室结构

燃烧器组件的结构见图 3。

燃烧气体燃料的燃烧器组件包括:扩散气体燃烧器、轴向旋流器、对角旋流器叶片、值班气体燃料燃烧器、点火器、气体分配器导管、燃烧器托板。对角旋流器和气体燃料分配导管组成与火焰筒联接的接口。

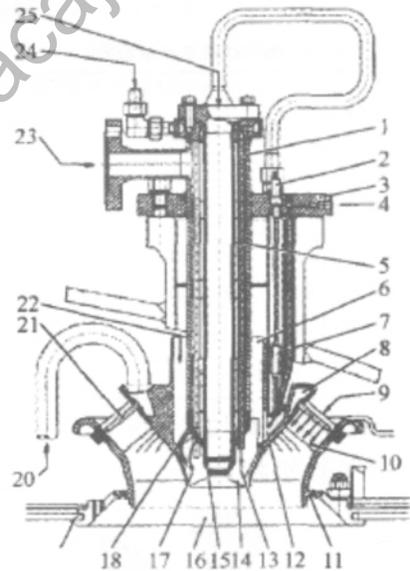


图 3 燃烧室结构图

1-值班气体燃料燃烧器;2-火花塞;3-燃烧器托板;4-点火气体燃料出口;5-扩散气体燃料的环形空间;6-燃烧空气的环形空间;7-点火器;8-气体燃料分配器;9-对角旋流器的空气入口;10-预混气体出口;11-对角旋流器;12-点火气体燃料出口;13-值班气体燃料出口;14-轴向旋流器;15-油燃烧器模型;16-燃烧区;17-扩散气体燃料出口;18-扩散气体燃料燃烧器;19-火焰筒端板;20-预混气体燃料进口;21-对角旋流器叶片;22-轴向旋流器的空气进口;23-扩散燃烧器的气体燃料进口;24-值班气体燃料进口;25-冷却空气

### 4.2 燃烧运行方式

低负荷工况下气体燃料以扩散模式运行(见

