

# 加热炉燃烧器改造降低烟气 NO<sub>x</sub> 排放

夏隽 毛哲

(中国石油大连石化公司)

**摘要** 随着国家对烟气中的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)含量的排放指标要求逐步提高。通过对燃烧过程中 NO<sub>x</sub> 的生成机理进行了剖析,提出针对炼厂工艺加热炉降低 NO<sub>x</sub> 排放的改造方案,加热炉燃烧器改造后采用低氮燃烧技术。改造后优化生产操作,加热炉烟气中 NO<sub>x</sub> 浓度低于 100 mg/m<sup>3</sup>,实现了 GB 31570—2015《石油炼制工业污染物排放标准》达标排放。

**关键词** 低氮燃烧器; 燃料分级; 烟气再循环

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2019.03.006

文章编号:1005-3158(2019)03-0019-03

## 0 引言

大气中 NO<sub>x</sub> 含量的增加,是形成 PM<sub>2.5</sub> 和雾霾的重要原因,NO<sub>x</sub> 作为大气的主要污染物之一,除一次污染物直接对环境、人体健康有害外,还会产生多种二次污染物。依据 GB 31570—2015《石油炼制工业污染物排放标准》中要求,现有企业自 2017 年 7 月 1 日起执行其标准排放限值,对现有和新建的石油化工过程中工艺加热炉烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放浓度限值降为小于或等于 150 mg/m<sup>3</sup>。

本项目针对大连石化公司 450 万 t/a 常减压蒸馏装置(以下简称二蒸馏)加热炉烟气中 NO<sub>x</sub> 排放超标的问题进行改造,了解燃烧过程中 NO<sub>x</sub> 的生成机理和低氮燃烧器的燃烧技术,提出最佳的改造方案。

## 1 燃烧过程中 NO<sub>x</sub> 生成机理

绝大部分燃烧方式产生的 NO<sub>x</sub>,NO 占 90% 以上,其余为 NO<sub>2</sub><sup>[1]</sup>。理论上 NO<sub>x</sub> 的生成机理有三种:快速或直接转化型、燃料转化型、热力型或热转化型<sup>[2]</sup>。

二蒸馏装置加热炉燃料为公司的管网瓦斯,由于氮含量很少,因此烟气中 NO<sub>x</sub> 大多数为热力型 NO<sub>x</sub>。

热力型或热转化型反应式:



热力型 NO<sub>x</sub> 的生成量和燃烧温度关系很大,在

温度足够高时,热力型 NO<sub>x</sub> 的生成量可占到 NO<sub>x</sub> 总量的 90%,随着反应温度  $T$  的升高,其反应速率按指数规律增加。

当  $T < 1\ 300\ ^\circ\text{C}$ <sup>[3]</sup> 时,NO<sub>x</sub> 的生成量不大,而当  $T > 1\ 300\ ^\circ\text{C}$  时, $T$  每增加 100  $^\circ\text{C}$ ,NO<sub>x</sub> 反应速率增大 6~7 倍。

## 2 低氮燃烧器改造

### 2.1 改造方案

NO<sub>x</sub> 控制技术可分为燃烧前、燃烧中和燃烧后处理三类。

对于二蒸馏装置而言,其工艺炉外排烟气中 NO<sub>x</sub> 为热力型 NO<sub>x</sub>,可以通过分级燃烧使烟气中的 NO<sub>x</sub> 降低至 100 mg/Nm<sup>3</sup> 左右,即可以仅通过低氮燃烧技术满足外排烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放标准,且低氮燃烧技术对锅炉的改造量较小,改造工期短。

### 2.2 燃料分级和烟气再循环技术

燃料分级是一种燃烧改进技术,它用燃料作为还原剂来还原燃烧产物中的 NO<sub>x</sub>。燃烧分级也可叫作“再燃烧”或“NO 再燃烧”。燃料分级过程是:大部分燃料从燃烧器进入一次燃烧区并造成富燃料状态,而一小部分燃料,喷到携 NO 的一次燃烧产物中,于是在一次燃烧区内生成的 NO 在二次燃烧区大量地被经根还原成氮分子。燃料分级再燃与还原 NO<sub>x</sub> 技术是降低 NO<sub>x</sub> 诸多方法中最有效的措施之一<sup>[4]</sup>。

烟气再循环主要抑制热力型 NO<sub>x</sub> 的生成,对温

度的影响大于氧分压的影响<sup>[5]</sup>,杨伟杰<sup>[6]</sup>等对现有的燃烧器加入烟气再循环进行实验,发现可有效降低NO<sub>x</sub>排放。

烟气再循环分为内部烟气再循环与外部烟气再循环。内部烟气再循环是指通过燃烧器与炉膛的结构设计,使得烟气产生回流,在炉膛内回流到燃烧区域参与反应。外部烟气再循环技术是指烟气从锅炉某一部分通过一个外部管道,在燃烧器入口与空气混合,通过燃烧器重新加入到炉膛内参与燃烧。

本次二蒸馏装置加热炉燃烧器改造,使用的是燃料分级和烟气再循环相结合的技术。本次改造的低氮燃烧器的燃烧技术见图1。

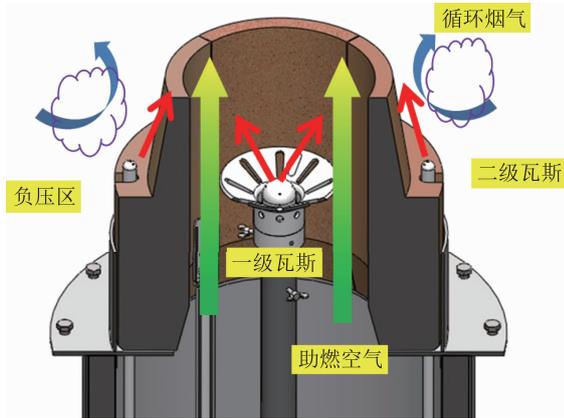


图1 低氮燃烧器的燃烧技术

采用两只独立燃料枪将燃料分为两部分进入燃烧器,中心燃料枪在过量空气中完成燃烧,大量的空气会降低火焰中心的温度,避免热力型NO<sub>x</sub>的大量生成。外环燃料枪将燃料直接喷入炉膛,燃料在炉内得到预热的同时与氧含量较低的烟气混合完成燃烧,在氧分压低的环境下火焰温度相应的得到降低,也利于降低NO<sub>x</sub>的生成量。

耐火砖采用独特的异型结构,在耐火砖高出炉衬部分布置若干向上倾斜的斜坡,相邻两斜坡采用一大一小两个倾斜角度。通过耐火砖的独特结构使二级燃料形成分阶段燃烧。

燃料配入形式和耐火砖的结构构成浓淡燃烧技术,空气一次性配入,在火道内少量燃料在大量空气中燃烧,热量被大量空气带走,在喷出火道砖时,剩余燃料喷入未燃尽的烟气中耗尽其中的氧气,减低氧分压,减少多余氧气与N<sub>2</sub>反应的机会,减少NO<sub>x</sub>的生成。

燃烧器的二级燃料枪喷射的高速燃料射流使燃

烧器火道砖处形成较强的负压区,炉内烟气在此负压的作用下,快速填充负压区,将烟气再循环引入到燃烧气体中,惰性的烟气冷却火焰,降低氧分压,并减少NO<sub>x</sub>排放。

### 3 改造实施情况

#### 3.1 改造效果

改造前二蒸馏装置加热炉烟气NO<sub>x</sub>浓度一般在200 mg/m<sup>3</sup>左右,更换28台燃烧器后,经环保检测,加热炉烟气中NO<sub>x</sub>浓度均小于80 mg/m<sup>3</sup>,达到了改造目的和设计要求,改造后加热炉烟气浓度数据见表1。

表1 加热炉改造后烟气中NO<sub>x</sub>浓度

采样日期	NO <sub>x</sub> 浓度/(mg · m <sup>-3</sup> )
05-23	64
06-05	56
06-16	60
06-23	23
06-27	40

#### 3.2 优化操作

##### 3.2.1 燃料性质

图2为氢气含量对烟气NO<sub>x</sub>排放的影响。

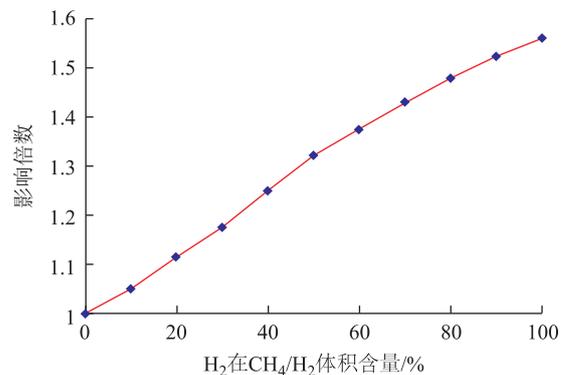


图2 氢气含量对烟气NO<sub>x</sub>排放的影响

从图2可看出,当氢气的含量增大时,对烟气NO<sub>x</sub>排放的影响成增大的趋势。

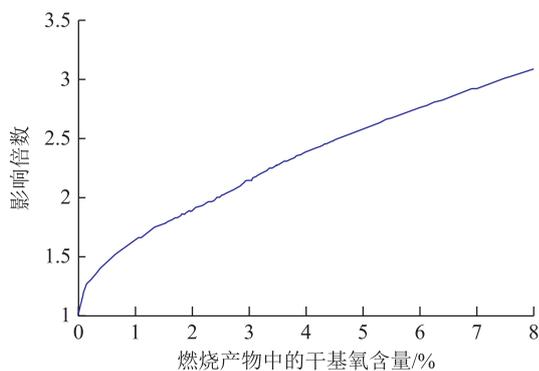
针对此情况,需尽量降低加热炉燃料中氢气的含量,优化加热炉的燃料组成,表2为优化前后燃料组成情况,从表中可以看出,优化后燃料的氢气含量大幅降低。

表 2 加热炉燃料优化前后瓦斯组成(体积百分比) %

瓦斯组成	优化前数值	优化后数值
氢气	40.68	22.93
二氧化碳	1.01	0.85
丙烷	2.08	0.87
丙烯	1.00	0.41
异丁烷	2.03	3.34
正丁烷	1.18	1.06
丁烯-1	0.58	1.29
异丁烯	0.19	0.30
反丁烯-2	0.62	1.56
异戊烷	1.32	0.35
顺丁烯-2	0.41	1.05
正戊烷	1.14	0.27
乙烯	8.52	6.22
乙烷	7.34	6.81
氧气	0.63	0.13
氮气	14.10	8.42
甲烷	16.48	43.75

### 3.2.2 烟气中氧气的浓度

图 3 为烟气中氧含量对烟气 NO<sub>x</sub> 排放的影响,从图 3 可看出,当氧含量增大时,对烟气 NO<sub>x</sub> 排放的影响呈增大的趋势。

图 3 氧含量对烟气 NO<sub>x</sub> 排放的影响

在加热炉运行过程中,随着烟气氧含量的减少,可以有效抑制 NO<sub>x</sub> 的生成。通过调节加热炉烟道挡板和供风挡板开度,在炉膛一定负压的情况下,控制加热炉氧含量在较低的范围。

另外炉内的氧含量过低时,会增加化学不完全燃烧的损失,使加热炉的热效率下降。因此对每台加热炉的风门进行调节,使其在处于最佳的燃烧状态,图 4 为燃烧器较为理想的燃烧状态。



图 4 燃烧器燃烧状态

## 4 结 论

通过研究燃烧过程中 NO<sub>x</sub> 生成机理,利用加热炉新型燃烧器的燃料分级和烟气再循环技术,可以在很大程度上控制炉膛内部高温燃烧区域 NO<sub>x</sub> 的生成。装置加热炉更换低氮燃烧器以及优化加热炉操作后,加热炉烟气 NO<sub>x</sub> 排放浓度低于 100 mg/m<sup>3</sup>,满足 GB 31570—2015《石油炼制工业污染物排放标准》规定的排放要求,达到了预期的目的,取得了良好的效果,对降 NO<sub>x</sub> 减排量具有重大意义。

### 参 考 文 献

- [1] 张建,李金科,徐红兵,等.低 NO<sub>x</sub> 燃烧器研究开发[J].乙烯工业,2006,18(1):22-25.
- [2] 卜银坤.关于锅炉 NO<sub>x</sub> 生成机理及科学超低排放的理论研究[J].工业锅炉,2016(4):8-16.
- [3] 沈永庆.低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术的研究[J].云南电力技术,2006,34(3):30-32.
- [4] 王恩禄,张海燕,罗永浩,等.低 NO<sub>x</sub> 燃烧技术及其在我国燃煤电站锅炉中的应用[J].动力工程,2004,24(1):23-28.
- [5] 苏毅,揭涛,沈玲玲,等.低氮燃气燃烧技术及燃烧器设计进展[J].工业锅炉,2016(4):17-25.
- [6] 杨伟杰.烟气再循环燃气燃烧器的实验分析[J].工业锅炉,2008(4):23-25.

(收稿日期 2019-01-25)

(编辑 王蕊)