

# 低氮燃烧技术在蓄热式加热炉的应用

姚昭旭 任桂红(抚顺矿业集团有限责任公司页岩炼油厂,辽宁 抚顺 113115)

**摘要:** 本文介绍了NO<sub>x</sub>生成机理,分析了底燃式加热炉氮氧化物的生产原因以及低氮燃烧技术的工作原理,并对底燃式加热炉在抚矿页岩炼油厂进行分级燃烧可行性进行了试验论证。

**关键词:** 低氮燃烧技术;蓄热式底燃加热炉;分级燃烧

## 1 NO<sub>x</sub>生成机理

抚顺式油页岩干馏工艺采用蓄热式底燃加热炉为油页岩提供干馏热量,燃料采用装置产生的瓦斯以及空气,其燃烧排放的烟气中的硫化物与氮氧化物的浓度处在超过国家排放标准的水平,前期已经安装了烟气脱硫装置,而脱氮的处理一直未进行,现需要对烟气的氮氧化物的生成量进行控制,要求不超过240mg/Nm<sup>3</sup>。经过化验分析,加热炉燃烧过程中生成烟气中的氮氧化物主要是NO和少量NO<sub>2</sub>。烟气中NO<sub>x</sub>产生机理一般分为如下3种:

(1)热力型NO<sub>x</sub>。燃烧时,空气中氮在高温下氧化产生,其中的生成过程是一个不分支连锁反应。其生成机理在高温下总生成式为: $N_2+O_2 \rightarrow 2NO$ 、 $NO+0.5O_2 \rightarrow NO_2$ 。随着反应温度T的升高,其反应速率按指数规律增加。当T<1500℃时,NO的生成量很少;而当T>1500℃时,T每增加100℃,反应速率增大6.7倍。

(2)快速型NO<sub>x</sub>。在碳氢化合物燃料燃烧时,当燃料过浓时,在反应区附近会快速生成NO<sub>x</sub>,由于燃料挥发物中碳氢化合物高温分解生成的CH自由基可以和空气中氮气反应生成HCN和N,再进一步与氧气作用以极快的速度生成NO<sub>x</sub>,其形成时间只需要60ms,所生成的NO<sub>x</sub>与炉膛压力的0.5次方成正比,与温度的关系不大。

(3)燃料型NO<sub>x</sub>。指燃料中含氮化合物,在燃烧过程中进行热分解,继而进一步氧化而生成NO<sub>x</sub>。在生成燃料型NO<sub>x</sub>过程中,首先是含有氮的有机化合物热裂解产生N、CN、HCN等中间产物基团,然后再氧化成NO<sub>x</sub>。

## 2 底燃式蓄热加热炉烟气NO<sub>x</sub>生成原因

在以上3种途径中,快速型NO<sub>x</sub>在混合气中碳氢化合物燃料过浓时燃烧产生,通常情况下,只有在不含氮的碳氢燃料低温燃烧时,才重点考虑,实际生产中,快速型NO<sub>x</sub>所占的比例不到5%。

通过对抚矿页岩炼油厂燃烧瓦斯和燃烧空气进行分析化验,燃料中的氮氧化物含量不高,燃烧瓦斯中指标:O<sub>2</sub>(%)4.4;CO<sub>2</sub>(%)17.5;NO(mg/m<sup>3</sup>)80;NO<sub>2</sub>(mg/m<sup>3</sup>)<1;NH<sub>3</sub>(mg/m<sup>3</sup>)723;总烃(mg/m<sup>3</sup>) $3.99 \times 10^4$ ;燃烧空气:O<sub>2</sub>(%)20.5;NO(mg/m<sup>3</sup>)0.109;NO<sub>2</sub>(mg/m<sup>3</sup>)0.042;NH<sub>3</sub>(mg/m<sup>3</sup>)13.6,所以加热炉烟气中NO<sub>x</sub>生成重点不属于燃料型。

现有的底燃加热炉的燃烧器是属于扩散燃烧性质的燃烧器,由于其边混合边燃烧的特征,会出现底燃式绝热燃烧火并

内存在燃烧温度从燃烧室底部到燃烧室上部温度逐步上升的流动与燃烧状态,且很容易出现局部高温,燃烧室温度可达到1500℃以上,所以热力型NO<sub>x</sub>是主要的产生原因。

## 3 低氮燃烧技术

### 3.1 燃料分级燃烧技术

燃料分级原理即在燃烧中已生成的NO遇到烃根CH<sub>i</sub>、未完全燃烧产物CO、H<sub>2</sub>、C以及C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>时,会发生NO的还原反应。利用这一原理,将一部分燃料送入第一级燃烧区(即主燃烧区),在 $\alpha < 1$ 条件下,燃烧并生成NO<sub>x</sub>。送入一级燃烧区的燃料称为一次燃料,其余的燃料则在主燃烧器的上方送入二级燃烧区,在 $\alpha < 1$ 的条件下形成很强的还原性气氛,使得在一级燃烧区中生成的NO<sub>x</sub>在二级燃烧区内被还原成氮分子,二级燃烧区又称再燃区,送入二级燃烧区的燃料又称为二次燃料,或称再燃燃料。在再燃区中不仅使得已生成的NO<sub>x</sub>得到还原,还抑制了新的NO<sub>x</sub>的生成,可使NO<sub>x</sub>的排放浓度进一步降低。

但是由于燃料瓦斯的成分比较复杂,采用燃料分级对瓦斯量控制不好,容易造成瓦斯燃烧不完全,造成排放烟气二次污染,VOC容易超标排放。

### 3.2 空气分级燃烧技术

根据NO<sub>x</sub>的生成机理,燃烧区的氧浓度对各种类型的NO<sub>x</sub>生成都有很大影响。当过量空气系数 $\alpha < 1$ ,燃烧区处于“缺氧燃烧”状态时,抑制NO<sub>x</sub>的生成量有明显效果。根据这一原理,将燃料的燃烧过程分阶段完成,把供给燃烧区的空气量减少到全部燃烧所需用空气量的80%左右,形成富燃区,从而降低了燃烧区的氧浓度,也降低了燃烧区的温度水平。因此,第一级燃烧区的主要作用就是抑制NO<sub>x</sub>的生成,推迟燃烧过程,并将已生成的NO<sub>x</sub>分解还原,使燃料型NO<sub>x</sub>减少;由于此时火焰温度降低,使得热力型NO<sub>x</sub>的生成量也减少。燃烧所需的其余空气则通过燃烧器上面的燃烧风喷口送入炉膛与第一级所产生的烟气混合,使燃料燃烧完全,成为燃尽区,从而完成整个燃烧过程。采用两段燃烧,避免了在高温、高氧条件下的燃烧状况,因而NO<sub>x</sub>的生成量可大降低。

### 3.3 烟气再循环技术

该技术通常的做法是部分冷却了的烟气再循环被送回燃烧区,起到降低降低火焰温度和助燃空气的氧浓度,达到减少NO生成的目的。此方法对热力型NO<sub>x</sub>所占份额较大燃气炉有效,对于热力型NO<sub>x</sub>所占份额不大的作用有限。烟气再循环法的脱NO<sub>x</sub>效果不仅与燃料种类有关,而且与再循环烟气量有关,因此,烟气再循环率一般不超过30%,一般控制在10%~20%。

烟气再循环过程中需要增加烟气回流风机,且回兑的烟气会与燃料瓦斯直接在高温环境下接触,烟气中氧气含量的多少

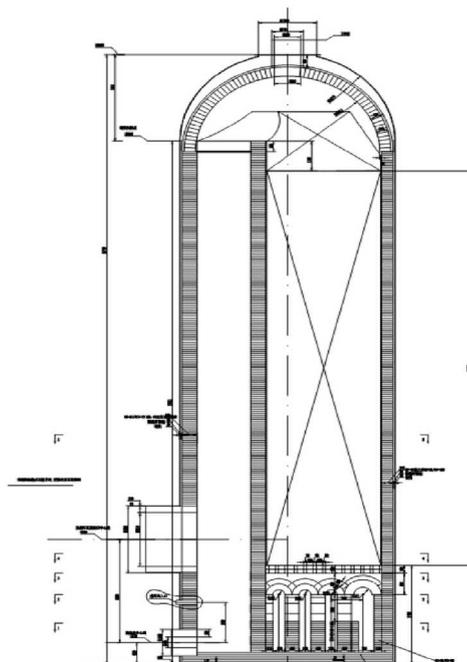


图1 改造后加热炉燃烧器位置示意图

决定了烟气回兑改造是否安全,经检测,烟气中氧气含量如下:A部:2.9%;B部3.2%;C部4.3%;D部5.2%;E部0.9,烟气中氧气含量不是很稳定,将氧含量如何控制在一定的指标范围内不容易掌握。

### 3.4 改造方案确定

综上所述,对于蓄热室底燃加热炉而言,采用空气分级的原理,可对风量进行合理控制,安全性高,可以保证燃料充分燃烧的同时,降低燃烧区域的温度,抑制热力型NO<sub>x</sub>的生成。根据现有的条件,空气分级燃烧不需对燃烧装置结构做大的改造,安装和操作上相对简单,并有可能在降低NO<sub>x</sub>排放的同时,提高装置运行的经济性。

## 4 抚顺蓄热式底燃加热炉分级燃烧技术应用

底燃式加热炉的原燃烧器设置在加热炉底部,为了实现空气分级燃烧,燃尽残余可燃物,在原来燃烧器的上部,设置二次助燃风进管,再经燃烧器以多喷口的形式引入燃烧室上部,形成完全燃烧状态,基本原理是通过二次布风,延长火焰辐射距离,降低燃烧区温度。为了检验此方法的低氮燃烧效果,选择一台加热炉进行了试验。

### 4.1 加热炉分级燃烧改造

在现有燃烧器的位置上方、热循环瓦斯出口下部,加热炉炉壁上再增加一台燃烧器,接到现有燃烧风总管上,利用蝶阀调整进风量,使得新增的燃烧器能够实现二次燃烧功能。通过二次布风的配合,使没有燃烧充分的燃烧瓦斯可通过二次燃烧全部消耗,使得燃烧室通道中不再可能形成局部的高温区域,改造后燃烧器位置示意图:(见图1)

### 4.2 加热炉分级燃烧试验数据

表2 烟气中氮氧化物浓度变化情况

上部助燃风/ 下部供风	燃烧室温度(°C)	烟气组成
----------------	-----------	------

		O <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
10:0	845	2.2	1608
9:1	830	4.9	778
8:2	881	2.7	1088
0:10	875	2.3	1635
1:9	865	2.6	396
2:8	880	2.7	342
3:7	889	2.7	168

### 结论:

- 1、试验后,加热炉加热温度变化不大,对干馏供热无影响。
- 2、烟气中氧含量均超过2%,说明可燃物燃烧完全。
- 3、进风变化对氮氧化物浓度影响较大,通过调整配风比例,可实现低氮燃烧,氮氧化物排放满足要求。

## 5 结语

随着我国NO<sub>x</sub>排放总量的逐年上升,由此造成的环境污染也不断加剧,对NO<sub>x</sub>的控制迫在眉睫。通过对底燃式蓄热加热炉采用空气分级燃烧技术的试验成功,证明了空气分级燃烧技术是符合油母页岩烟气工况的低NO<sub>x</sub>技术,填补了油母页岩行业的空白,实现了炉内燃烧低NO<sub>x</sub>的目标,投资低、改造小,具有可行性。

## 参考文献:

- [1]冯兆兴.高挥发分煤种电站锅炉高效低NO<sub>x</sub>排放系统研究[D].石家庄:华北电力大学,2007.
- [2]鲁鹏飞.某600MW机组烟煤锅炉低NO<sub>x</sub>改造及效果分析[J].陕西电力,2013,41(2):84-87

### 作者简介:

姚昭旭(1972-),男,本科,抚顺矿业集团页岩炼油厂生产厂长;  
任桂红(1973-),女,本科,抚顺矿业集团页岩炼油厂工程师。