

降低燃气锅炉NO_x排放的控制方法浅析

毛录荣

中国石化海南炼化有限公司公用工程部 海南 儋州 578101

摘要: 氮氧化物(NO_x)是燃气锅炉主要控制的环保指标,随着中石化超洁净排放战略的实施,为降低氮氧化物(NO_x)的排放总量,达到海南地区的环保指标,本文从燃料的组成,NO_x的形成原因以及低氮燃烧技术几个方面,查找燃气锅炉运行中控制氮氧化物(NO_x)的方法,降低燃料在燃烧器出口的燃烧温度和氧含量,采用烟气再循环,低氮燃烧器技术和SCR工艺,减少NO_x的生成,保证装置环保运行。

关键词: NO_x; 再循环; 燃烧; 烟气; SCR

前言: 现阶段海南地区燃气锅炉NO_x排放控制指标是200mg/Nm₃,中石化系统对新建燃气锅炉要求的控制指标为NO_x排放浓度 < 50mg/Nm₃ (3%氧,干烟气),针对以上控制指标运用低氮燃烧技术和新型循环工艺是非常必要的。

1 NO_x 的生成机理

燃气锅炉燃烧过程中所产生的NO_x一般是指NO和NO₂。科研人员大量的试验结果表明,燃气锅炉燃烧器燃烧排放出的NO_x中,NO约占95%,NO₂约占5%,因此我们下文中所说NO_x主要是指NO^[1]。NO_x按其生成的原理和生成途径分类,分为热力型,快速型和燃料型。

1.1 热力型NO_x

热力型NO_x主要是燃料在燃烧过程中化生成的。燃气在整个燃烧过程中火焰温度和在炉膛内的停留时间对热力型NO_x的生成有决定性的作用^[2]。即使锅炉在点炉期间炉膛温度比较低,但燃烧器火焰中心温度仍然比较高,会产生大量的热力型NO_x,这对烟气中总的NO_x生成量有重要影响。

1.2 快速型NO_x

燃气锅炉正常运行时,生成快速型NO_x的情况有两种。一是燃气在缺氧条件下燃烧,二是燃气锅炉中过量空气系数 $\alpha \leq 1$ 时快速形成,燃气锅炉正常运行时为了提高燃料在炉膛中燃烧的效率,实际运行中都有一部分过剩氧存在,另外过剩空气系数要求控制1.12-1.45,所以快速型NO_x在燃气锅炉运行中生成量很少,可不考虑。

1.3 燃料型NO_x

燃料型NO_x主要是由燃料中含氮化合物高温燃烧所形成的。但从海南炼化化验室调阅的化验数据如下表1:

表1 海南炼化燃料气的组成

成分	单位	含量
CH ₄	% (Mol)	80.202

续表:

成分	单位	含量
C ₂ H ₆	% (Mol)	1.128
C ₃ H ₈	% (Mol)	0.328
iC ₄	% (Mol)	0.086
nC ₄	% (Mol)	0.082
iC ₅	% (Mol)	0.044
nC ₅	% (Mol)	0.025
C ₆ ⁺	% (Mol)	0.067
N ₂	% (Mol)	13.755
CO ₂	% (Mol)	4.283

分析数据可知现锅炉燃料气中没有含氮化合物,因此,燃烧时不产生燃料型NO_x,即燃料型NO_x也可以忽略不计。

根据现阶段海南炼化炼油区燃气锅炉的运行现状表明,NO_x主要生成量与燃烧时的温度,燃烧的时间以及氧含量有关,下面我们就讨论如何在燃气锅炉运行中控制热力型NO_x的生成。

2 运行燃气炉 NO_x 的控制方法

NO_x的控制方法可以分为:燃料燃烧前的预处理、燃烧过程中处理以及燃烧后的处理^[3]。表1的数据表明,对于燃气锅炉而言不产生燃料型NO_x。

为了降低燃料燃烧过程中热力型NO_x产生,现阶段的手段主要是通过分层燃烧冷却一次燃烧温度,有效降低了燃烧速率和温度。

国内目前对于燃烧后NO_x的处理主要有选择性催化还原法SCR和选择性非催化还原法SNCR两种工艺。由于SNCR的脱销效率低,氨逃逸率大,目前情况海南炼化乙烯项目燃气锅炉选择SCR脱销工艺。

燃气锅炉在正常运行时控制NO_x排放的最佳方法是控制炉膛温度,保证烟气在高温炉膛中的停留时间,采用烟气再循环和低氮燃烧技术是目前国内比较成熟经济

有效的方法（即燃烧中处理的方式）。

3 烟气再循环（FGR）

利用再循环风机将空预器后尾部烟气再次送至热风道，利用尾部低温烟气中惰性气体和较低含氧量，不仅降低燃烧器配风中的氧气含量，同时也降低了燃气在炉膛中的燃烧温度，减少单位时间内燃气释放的热量，进而控制氮氧化物的生成量，从而降低火焰温度和燃烧速度，减少氮氧化物的生成。

4 采用超低 NOx 排放燃烧器

最新一代的超低NOx排放燃烧技术最核心的是使用了分级进燃料燃烧器，它可以在不使用烟气循环的情况下达到超低NOx排放。在它的中心气枪周界上设有1个燃气环，中心气枪当作长明灯来使用，增加了燃烧的稳定性。

4.1 燃料分级进入炉膛

燃料进入燃烧器后分为两路，一路去中心燃气枪，一路去分级燃料集环。中心燃气枪提供稳定的火焰。通过产生低漩涡的旋流器，使得初级燃料稳定而可靠。喷嘴使得燃料在喷出燃料孔时获得较大的动量，从而致使炉膛内部的自身烟气循环。燃气在没有完全燃烧前夹带烟气预混进去炉膛，从而产生一个燃料缺氧区域，进而降低火焰温度。这样就可以降低热力NOx的产生。

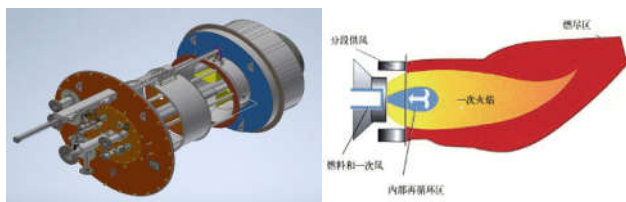


图1 燃料分级燃烧器

4.2 燃料分级燃烧

燃料的分级燃烧是利用燃烧器超低NOx旋流器实现的，旋流器安装在中心气枪的尾部，并用螺栓装配见图1。旋流器组件创造一个内部循环的漩涡，并为燃料提供一个稳定的点火源。同时在燃烧器喉部的下游的低压区域提供一个稳定火焰。从燃烧器前盘角度看，旋流器将产生2个不同的气流。一次风通过旋流器提供位于一次燃料区域。在此区域建立富氧燃烧区域的中心火焰，使NOx热转化率最小化。二次风是在旋流器的外侧通过，提供一个轴线的气流。

5 选择性催化还原法（SCR）

海南炼化乙烯项目燃气锅炉采用SCR脱硝工艺，每台锅炉在一级省煤器和二级省煤器之间设置一个脱硝模块，一个脱硝模块包含2层催化剂床层，催化剂床层按1+1方式布置，实装1层，预留1层，装填蜂窝式催化剂，催化剂的性能保质期为32000h。选择性催化还原脱硝

（SCR）是通过往烟气中喷射氨气还原剂，将NOx转化为N₂和H₂O。

主要化学反应方程式如下（图2）：

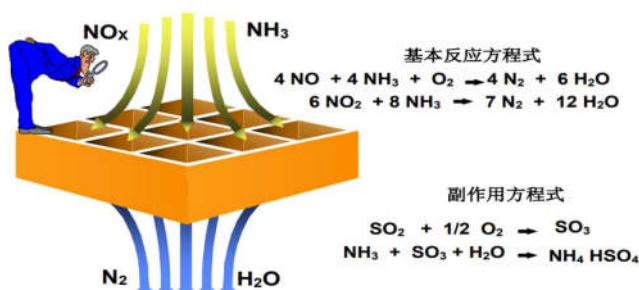
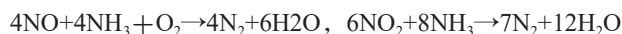


图2 SCR技术主要反应方程式

SCR脱硝对进入催化剂时烟温有严格要求，一般情况下要求控制在320℃-430℃，当温度较低时会使催化剂效率下降甚至产生一些副反应；当烟气温度过高时会导致催化剂通道结构发生变化且使催化剂活性降低甚至失去活性。另外催化剂容易老化烟气中毒，需要定时检测催化剂前后烟气中NOx的浓度和氨氮比，检测催化剂运行情况。

运用SCR脱氮技术能够将外排烟气中的NOx控制在50mg/Nm₃以内。在实际运行中，为了能达到NOx的排放指标，喷氨量会大于NOx的量，这样就会造成氨逃逸。怎样使NH₃的喷入量既能保证NOx低浓度排放，又能保证较低的氨逃逸，这是一个调整重点也是一个控制难点。

6 运行中燃气锅炉 NOx 的排放数据

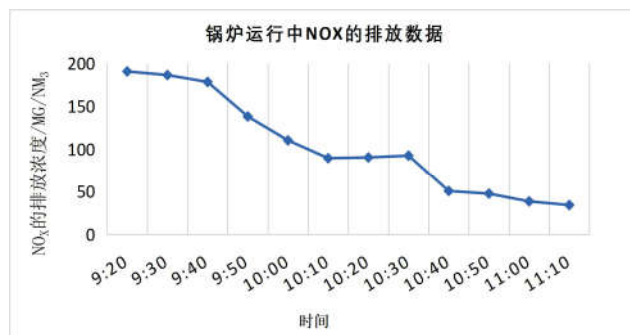


图3 燃气锅炉运行中NOx的排放数据

由图3中的折线图可以清楚的看出燃气锅炉在运行过程中，刚开始9:20时由于锅炉热负荷比较低，燃烧器只投用中心枪，NOx的排放量维持在180mg/Nm₃（3%氧，干烟气）左右。随着燃气锅炉热负荷的增加，逐渐投入燃烧器的外集环火焰，10:30燃气锅炉燃烧器完全投用正常，此时NOx的排放量维持在100mg/Nm₃（3%氧，干烟气）左右。后续为了保证燃气锅炉环保指标中NOx的正常排放，缓慢投用烟气再循环系统，11:10分烟气再循环系统投用正常，燃气锅炉的热负荷也维持到了额定蒸发

量的80%，此时NO_x的排放量维持在35mg/Nm₃（3%氧，干烟气）左右。燃气锅炉通过最新一代超低NO_x排放燃烧器和烟气再循环系统的配合使用，能够减少热力型NO_x的产生。

6.1 运行中燃气锅炉NO_x的排放数据分析

表2 燃气锅炉操作参数

项目	1号燃气炉氧含量	1号燃气炉燃料气	1号燃气炉炉膛温	2号燃气炉氧含量	2号燃气炉燃料气	2号燃气炉炉膛温	外排烟气NO _x
单位	%	m ³ /h	°C	%	m ³ /h	°C	mg/m ³
7月01日	2.32	1316	792	2.33	1227	797	38.6
7月02日	2.12	1151	745	2.57	1216	812	39.5
7月03日	3.35	1288	722	3.19	1164	818	46.8
7月04日	3.52	1341	792	3.15	1162	831	47
7月05日	3.38	1283	770	3.51	1040	825	47.6
7月06日	2.18	1252	774	2.24	1041	830	40.3

通过表2中的数据分析能够清楚的看到降低运行中燃气锅炉NO_x的排放指标是一个非常复杂的过程，燃烧技术，设备的调节精度，炉膛温度，烟气量，配风量，烟气再循环量，炉膛过剩氧等都能影响最终NO_x的排放值，其中炉膛过剩氧的影响相对明显，因为NO_x的显示量与炉膛过剩氧有（3%氧，干烟气）的折算关系，其他参数的影响都比较小，因此降低燃气锅炉NO_x的控制方法优先考虑从源头上减少生成，即选用低氮燃烧器加烟气再循环技术，其次NO_x生成后要能高效脱除，即选用选择性催化还原法，最后考虑工艺操作方面的调整。

7 结论

综上所述，通过对运行中燃气锅炉产生NO_x的原因，控制方法，主要的设备结构以及运行数据和操作手段等方面的介绍，得出以下结论：

（1）现阶段运行中的燃气锅炉运用烟气再循环燃烧技术，将空气预热器后，引风机前部分的烟气通过再循环风机直接与热风道空气混合后通过燃烧器进入炉膛燃烧，利用惰性气体的吸热作用降低火焰燃烧温度，同时也降低了氧气的分压，控制了NO_x生成。

（2）最新一代的锅炉超低NO_x排放燃烧器，以控制

新一代超低NO_x排放燃烧器和烟气再循环的组合，可以有效的控制和降低燃烧过程中生成的热力型NO_x，选择性催化还原SCR技术可以脱除部分燃烧后产生NO_x。表2为燃气锅炉运行中的操作参数：

燃烧过程中产生的氮氧化物为主要目的，采用燃烧分级燃烧，从而有效降低燃烧温度。

（3）根据海南炼化燃气锅炉现阶段的运行情况，SCR脱氮技术的加持能够有效控制NO_x的排放指标 < 50mg/Nm₃（3%氧，干烟气）。但是SCR工艺的脱氮效率受反应温度和喷氨量的影响比较大，烟气成分复杂，某些污染物可使催化剂中毒，另外系统中未反应的NH₃和烟气中的SO₂作用，生成易腐蚀和堵塞设备的硫酸氨和硫酸氢氨，同时还会降低氨的利用率，导致氨逃逸量增加，所以后续运行中的优化操作调整空间还是很大，继续改进。

参考文献

- [1]傅忠诚,艾效逸,王天飞,天然气燃烧与节能环保新技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2007
- [2]钟北京,傅维标,燃烧过程中快速型氧化氮形成机理及其影响因素[J].燃烧科学与技术,1997(4):57-62.
- [3]沈玲玲,陈良军,中国石化海南炼油化工有限公司燃气锅炉环保升级技术报告[R].海南炼化,2017
- [4]ZEECO FREE JET C24 燃气燃烧器操作和维护手册[R].海南炼化,2021