

燃气加热炉低氮燃烧器的应用实践

华静宇¹ 张瑞黎² 张玉慧¹

(1. 中国石化中原油田分公司; 2. 北京化工大学)

摘 要 为满足“2+26”城市大气污染防治工作对加热炉废气中 NO_x 排放标准的有关要求,从执行标准、油田加热炉现状、燃气加热炉安装低氮燃烧器工艺技术的可行性等方面进行了分析,并对其投运后 NO_x 的防治效果进行了对比研究。结果表明:加热炉 NO_x 浓度大大降低,控制在 $40\sim 50\text{ mg/m}^3$,可满足 GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》和《京津冀及周边地区 2018—2019 年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》的要求。

关键词 燃气; 加热炉; NO_x 低氮燃烧器

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2019.04.010

文章编号: 1005-3158(2019)04-0036-03

0 引 言

近年来,随着国家环保法律法规的密集出台,环保标准愈加严格,对排放废水、废气污染物的企业提出了越来越高的要求。尤其是纳入“2+26”大气污染传输通道城市的企业,面临的形势更加严峻。

1 油田现状

1.1 执行标准情况

油田现有加热炉均燃烧天然气,2018 年以前,加热炉废气执行 GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》表 1 标准。2018 年环保部颁发了《关于京津冀大气污染传输通道城市执行大气污染物特别排放限值的公告》(2018 年 第 9 号),2018 年 10 月 1 日起,按照 GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》表 3 的特别排放限值执行。2018 年底,生态环境部印发《京津冀及周边地区 2018—2019 年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》,要求“加快推进燃气锅炉低氮改造,原则上改造后 NO_x 排放浓度不高于 50 mg/m^3 。”

表 1 近年来执行标准情况 mg/m^3

污染物	二氧化硫	NO_x	烟尘
2018 年以前	100	400	30
2018 年 10 月 1 日	50	150	20
2019 年 9 月	50	50	20

1.2 加热炉情况

为确保“2+26”大气污染传输通道区域加热炉废

气中 NO_x 排放符合国家环保要求,油田选择 5 台加热炉作为试点,安装了低氮燃烧器。油田加热炉大多是开发初期投用的加热炉,部分加热炉在后期经过工艺改造,但是改造主要集中于加热状况和使用的便利性,未改变加热状态,目前存在的问题主要是:

1) 加热炉采取人工点火方式,使用钢板遮住风门,导致密闭性不好;燃烧状态主要通过观测孔观察,进而手动调节进气量和风量,进入的风量和气量比例处于未知状态。经监测,外排烟气含氧量高,最高可达 18% 左右,这也是 NO_x 折算浓度较高的原因之一。

2) 按照热力型 NO_x 的产生机理,一般火焰温度在 $900\sim 1\,200^\circ\text{C}$ 时, NO_x 迅速生成,占主导地位。使用红外测温仪监测,加热炉火焰温度一般在 $640\sim 700^\circ\text{C}$ 左右,虽然未达到快速生成阶段,但是热力型 NO_x 仍会生成^[1]。

3) 快速型 NO_x 主要是含氮燃料在低温火焰中,由于含碳自由基的存在而产生的^[2],本项目加热炉燃料为油田伴生天然气,其 N 元素含量极低,具体成分见表 2。

由表 2 可看出,油田使用的天然气含 N 量极低,因此,排除燃烧过程中因燃料选择而产生 NO_x 排放浓度高。

综上所述,加热炉主要存在密封性不好、含氧量高、无计量等问题,这些因素对于加热炉废气中 NO_x 的监测结果影响很大,最主要的是影响废气中的氧含量,氧含量高是导致 NO_x 折算浓度高的主要原因之一;其次是热力型 NO_x ,虽然未达到快速生成温度阶段,但是热力型 NO_x 仍占主导。

表2 油田伴生气主要组成分析 %

组分	采气井来气	原油伴生气	天然气净化站外输气
N ₂	0.902~1.51	0.682~0.983	0.953~0.964
CO ₂	0.682~1.89	1.39~1.65	1.31~1.34
CH ₄	86.86~93.018	74.041~84.215	95.015~95.194
C ₂ H ₆	1.59~1.94	6.13~8.18	1.62~1.63
C ₃ H ₈	0.373~0.639	3.66~6.52	0.354~0.368
iC ₄ H ₁₀	0.101~0.666	0.764~1.79	0.103~0.106
nC ₄ H ₁₀	0.302~1.11	1.43~3.36	0.148~0.155
iC ₅ H ₁₂	0.055~0.338	0.482~1.2	0.054~0.061
nC ₅ H ₁₂	0.066~0.297	0.395~0.975	0.062~0.070
C ₆ 或C ₆ ⁺	0.069~0.188	0.296~0.757	0.063~0.085
C ₇	0.12~0.256	0.233~0.629	0.097~0.162
C ₈	0.026~0.083	0.063~0.175	0.031~0.055
C ₉	0.017~0.045	0.026~0.037	0
C ₁₀	0	0	0

2 低氮燃烧器

2.1 低氮燃烧器的种类

根据降低 NO_x 的燃烧技术,低 NO_x 燃烧器大致分为阶段燃烧器、自身再循环燃烧器、浓淡型燃烧器、分割火焰型燃烧器、混合促进型燃烧器、低 NO_x 预燃室燃烧器等^[3-5]。

2.2 低氮燃烧器的选择

油田加热炉以伴生气及净化天然气为燃料,燃气中元素氮含量很少,因此,烟气中基本上燃料型 NO_x 较少,以热力型 NO_x 为主。减少烟气中热力型 NO_x 排放的主要方法有:一是根据加热炉膛形状和尺寸选择合适的燃烧器,使燃烧器火焰形状、尺寸与炉膛匹配,既要避免炉膛温度过高,也要保持炉膛有足够的热强度,以保证加热炉出力达到设计能力。二是把燃烧器配风由单级变成分段多级配风,人为造成低氧/缺氧/过氧燃烧,燃气的燃烧过程包含不充分燃烧、还原燃烧、充分燃烧三个过程,在保证燃气完全燃烧的前提下,火焰中心温度始终控制在合理范围,避免出现火焰中心温度过高造成 NO_x 大量产生。三是在燃烧器配风中掺入部分烟气降低助燃空气中的氧含量,实现贫氧燃烧,同时也降低了炉膛温度,达到降低烟气中 NO_x 含量的目的。四是增加烟气外循环,即在配风中掺混一定比例的(一般小于 20%)烟气实现低氧燃烧,进一步降低火焰强度。由于烟气外循环会降低燃烧器出力,因此低氮燃烧器功率需要比普通燃烧器功率大 20% 才能保证原有热功率不变^[6-7]。本次试点选择的低氮燃烧器见图 1。



图1 本次试点选择的低氮燃烧器

2.3 自动控制系统

自动控制系统由箱体、可编程控制器及各种传感器、变送器等组成,除完成加热炉点火、火焰检测、风量调节及安全保护外,还可以对炉体压力、温度、液位监测,实现对炉体运行情况连续监测,发现炉体压力、温度、液位超差时报警,超过上限值时停炉。此外,控制系统还对盘管出口温度进行检测和控制,保证加热原油温度在满足生产需要的同时,避免过度加热而浪费能源。控制系统还可以加装烟气氧量控制模块对烟气中氧含量进行连续检测,根据烟气中的氧含量控制燃烧器配风量,保证燃烧系统的过剩空气系数维持在最佳范围,全面提高加热炉效率。

3 实施效果

项目实施后,对 5 台加热炉烟气进行了采样监测,监测结果见表 3。

从表 3 可看出,通过对加热炉安装低氮燃烧器,NO_x 监测浓度大大降低,不仅可以满足 GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》表 3 特别排放限值 150 mg/m³ 的要求,还可以满足《京津冀及周边地区 2018—2019 年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》提出的 50 mg/m³ 的要求。

安装低氮燃烧器前后氧含量、NO_x 浓度曲线分别见图 2、图 3。从图 2、3 可看出,通过自动化技术对进燃料气量、空气量以及烟气量等参数的调节,空气过剩系数大幅降低。安装低氮燃烧器前过量空气系数较大,基本在 10%~18.5%,NO_x 的排放浓度较高,一般为 110~170 mg/m³;过剩空气系数大幅降低,控制在 6%~8.5%,NO_x 的排放浓度也大幅降低,基本控制在 40~50 mg/m³,符合新标准的要求。

表 3 5 台加热炉安装低氮燃烧器前后监测结果对比

指标	监测次数	氧含量/%		NO _x 浓度/(mg·m ⁻³)		氧含量下降 比例/%	NO _x 下降比例/ %
		安装前	安装后	安装前	安装后		
1 号炉	第 1 次	14.1	5.6	174	49	/	/
	第 2 次	13.6	8.6	168	46	/	/
	均值	13.9	7.1	171.0	47.5	48.74	72.22
2 号炉	第 1 次	18.6	8.3	144	45.9	/	/
	第 2 次	17.8	7.8	157	49.1	/	/
	均值	18.2	8.1	150.5	47.5	55.77	68.44
3 号炉	第 1 次	11.3	6.8	165	46.8	/	/
	第 2 次	12.8	7.2	141	44.2	/	/
	均值	12.1	7.0	153	45.5	41.91	70.26
4 号炉	第 1 次	13.5	7.6	130	45.9	/	/
	第 2 次	14.4	7.1	156	44.1	/	/
	均值	14.0	7.4	143	45	47.31	68.53
5 号炉	第 1 次	11.5	7.0	112	43.1	/	/
	第 2 次	9.7	6.9	118	40.2	/	/
	均值	10.6	7.0	115	41.65	34.43	63.78
总平均		13.7	7.3	146.5	45.43	46.72	68.99

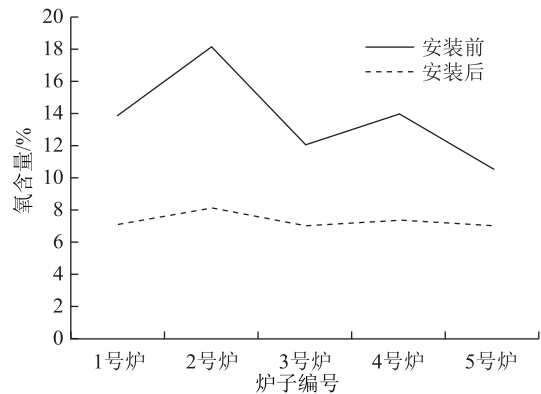


图 2 安装低氮燃烧器前后氧含量变化曲线

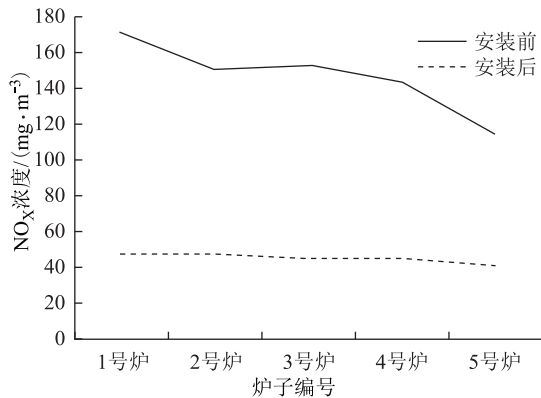


图 3 安装低氮燃烧器前后 NO_x 浓度变化曲线

燃烧技术应用效果达到了基本要求,废气中 NO_x 的排放满足《京津冀及周边地区 2018—2019 年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》中“加快推进燃气锅炉低氮改造,原则上改造后 NO_x 排放浓度不高于 50 mg/m³”的要求。

2)低氮燃烧技术与自动化技术结合,实现了对炉体运行情况连续监测,保证供热量满足生产需要的同时,避免过度加热带来的能源浪费。

参 考 文 献

[1] 彭乾冰,钱广华. 天然气低 NO_x 燃烧技术研究及应用[J]. 石油石化节能与减排, 2015(3):42-50.

[2] 王珏,赵向东. 基于烟气再循环的燃气炉低氮氧化物排放性能研究[J]. 工业锅炉, 2017(1):22-25.

[3] 王宪辉,李钟. 燃气锅炉低氮改造技术探讨[J]. 山西建筑, 2017, 43(5):203-204.

[4] 宋少鹏,卓建坤,李娜,等. 天然气供热锅炉低氮燃烧技术研究现状[J]. 供热制冷, 2016(2):18-21.

[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] 宋少鹏,卓建坤,李娜,等. 燃料分级与烟气再循环对天然气低氮燃烧特性影响机理[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(24):6849-6858.

[7] 兰健,吕田,金永星. 烟气再循环技术研究现状及发展趋势[J]. 节能, 2015(10):4-8.

4 结 论

1)针对油田以伴生天然气为燃料的加热炉,此低氮

(收稿日期 2019-05-22)

(编辑 王蕊)