

油田燃气锅炉（加热炉）低氮改造技术试验及认识

王群章 左玉忠 刘盛益 李 飞 陈健康

（中国石化集团公司河南油田分公司，河南 南阳 473006）

摘 要：针对国家环保新规要求，油田集输系统燃气锅炉（加热炉） NO_x 必须达标排放，通过对低氮燃烧技术原理分析，采用一体式低氮燃烧器 + （烟）气再循环（FGR）技术，分别对 1 台加热炉和 1 台锅炉进行低氮改造试验，经测试在利用 FGR 和停用 FGR 两种工况下 NO_x 指标均小于 50 mg/Nm^3 ，符合锅炉大气污染物排放规定要求，达到了试验目的。

关键词：锅炉（加热炉）；低氮改造；试验

1 引言

在油田开发生产中，锅炉（加热炉）是将燃料燃烧产生的热量传给被加热介质而使其温度升高的一种设备。广泛应用于集输系统中，将原油、天然气、及脱油污水加热至工艺需要的温度，进行输送、沉降、分离、脱水和原有稳定等^[1]。目前河南油田采油一厂集输系统用锅炉（加热炉）39 台，主要特征是运行负荷小，一般不大于 4t（2500kW）；投用时间长，平均 15 年以上，设备老化；荷变化大运行不稳定，负荷率一般维持在 30%~60%；连续运行，操作和检修条件差， NO_x 排放 $70\text{mg} \sim 120\text{mg/Nm}^3$ 左右。

2017 年国家启动低氮环保改造计划。豫环 [2020]7 号文中对 4t 以下锅炉的排放限值：新建锅炉 NO_x 排放标准降到 30mg/Nm^3 以下，在用锅炉排放标准 50mg/Nm^3 以下。为了满足国家和地方关于锅炉大气污染物排放法律、法规、规范和标准要求，减少大气污染，亟需对在用锅炉（加热炉）进行低氮改造。

2 低氮燃烧技术原理

NO_x 的产生源于燃气与空气混合后燃烧，空气中的氮气在高温下与氧气反应产生，主要有三种产生形式^[2]。三种类型 NO_x 形成机理对排放的贡献见图 1。

第一燃料型 NO_x ：燃料中的所含的固定氮（如 N 化合物、 NO_x 等）燃烧后，直接生成的 NO_x ，其与燃料中的固定氮含量有关；

第二热力型 NO_x ：燃烧高温（ 1400°C 以上）环境下，助燃空气中的 N_2 与 O_2 发生化合反应生成的 NO_x ，其生成量与火焰温度和剩余氧含量有关；

第三瞬时型 NO_x ：低温火焰下由于含碳自由基 CH 的存在，它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的 NO，它的占比很小，一般不超过 5%，且容易被还原，可忽略。

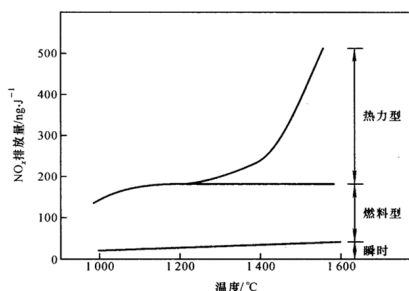


图 1 三种类型 NO_x 形成机理对排放的贡献
根据氮氧化物的形成机理及对排放的贡献，低氮燃烧

技术主要考虑热力型 NO_x ：产生的主要条件是高的燃烧温度使氮分子游离增加化学活性；然后是高的氧浓度。可采取的技术有：

- ①减少燃烧最高温度区域范围；
- ②降低锅炉燃烧的峰值温度；
- ③降低燃烧的过量空气系数和局部氧浓度^[3]。

3 关键技术分析

低氮燃烧器 + 燃气再循环（FGR）是从锅炉排烟出口抽吸出部分烟气（7%~10%），由附加的管道联通到锅炉的助燃风机入口；可以采用独立的抽烟风机抽吸烟气，也可以由加大功率的助燃风机直接抽吸烟气。此部分烟气直接与助燃风机吸入的助燃空气混合，形成低于空气氧含量（20.9%）的欠氧助燃气体（氧含量控制在 18% 左右），与天然气混合燃烧时显著降低火焰温度和燃烧气体氧浓度，降低热力型 NO_x 的产生^[4-5]。本试验采用一体式低氮燃烧器，其结构示意图见图 2。使用自身所带的燃烧器风机将从烟囱抽取的烟气和燃烧空气混合。烟气流量通过电动蝶阀调节，该阀由燃烧器控制器控制。

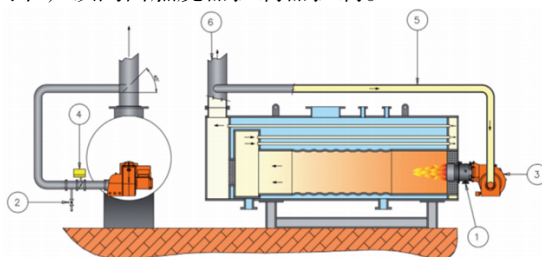


图 2 一体式低氮燃烧器 FGR

①燃气进口；②冷凝水排水阀；③低氮燃烧器；④电动阀；⑤再循环管；⑥烟囱。

4 现场试验

2020 年下半年采油一厂分别对安棚供热站 2 号 800kW 真空变相加热炉和江联供热站 3 号 4t/h 蒸汽锅炉进行了改造试验，具体情况如下：

①采用低氮燃烧器 + 烟气外循环（FGR）技术：低氮燃烧器采用燃料分级燃烧、空气分级燃烧、烟气内循环等多种低氮排放控制技术，烟气外循环（FGR）是从锅炉排烟出口抽吸出部分烟气（7%~10%），由附加的管道联通到锅炉的助燃风机入口，此部分烟气直接与助燃风机吸入的助燃空气混合，形成低于空气氧含量（20.9%）的欠氧助燃气体（氧含量控制在 18% 左右），与天然气混合燃烧时能显著降低火焰温度和燃烧气体氧浓度，从而降低热力

型 NO_x 的产生;

②在锅炉(加热炉)负荷变化范围内,燃烧器能实现自动步序程序控制。燃烧器出力应满足实际运行负荷需要,燃烧效率 99.9%,低氮燃烧器在不采用 FGR 的条件下氮氧化物排放量 < 50mg/Nm³ (基准含氧量 3.5%),过量空气系数不大于 1.15。采用烟气外循环(FGR)保证锅炉在规定负荷下,NO_x 排放浓度 < 30mg/Nm³;

③安棚供热站 2 号 800kW 真空变相加热炉燃烧器改造项目。2 号加热炉技术参数见表 1,配套燃烧器技术参数见表 2。改造后 2020 年 9 月 23 日油田技术检测中心测试结果:燃气调压压力 8kPa,使用外烟气再循环技术 FGR,氮氧化物排放值为 27mg/Nm³,不使用外烟气再循环技术 FGR,氮氧化物排放值为 43mg/Nm³;

④江联供热站 3 号 4t/h 蒸汽锅炉燃烧器改造项目。锅炉技术参数见表 3,配套燃烧器技术参数见表 4。改造后 2020 年 11 月 10 日油田技术检测中心测试结果:燃气调压压力 8kPa,未设置外烟气再循环 FGR,氮氧化物排放平均值为 43mg/Nm³。

表 1 安棚 2 号加热炉技术参数

锅炉型号	JM-ZKX800-H/4.0-Q
额定功率	800kW
设计压力	0.09MPa
产品类型	常压
工作压力	微负压
设计温度	120℃
设计效率	≥ 88%
载热介质	水、蒸汽
制造日期	2011 年 3 月
制造厂家	山东骏马石油设备集团有限公司

表 2 配套燃烧器技术参数

燃烧器型号	HVLR126
额定功率	1260kW
风机电机功率	4kW
适应燃料	天然气、液化气、城市煤气
额定燃气耗量(天然气)	105Nm ³ /h
阀组通径	DN50
调节比	3:1
制造厂家	江苏汉威燃烧科技有限公司

表 3 江联 3 号锅炉技术参数

锅炉型号	WNS4-1.25-Q
额定蒸汽量	4t/h
额定蒸汽压力	1.25MPa
额定蒸汽温度	194℃

(上接第 124 页)寿命期外天然气单位视经营成本 *.* 元/方。经计算,经济性待探明技术可采资源量主要分布在成本气价 *.* 元/方时,待探明技术可采资源量 **** 亿方,成本气价大于 *.* 元/方时,待探明技术可采资源量 **** 亿方。

4 结论

本次资源评价采用的勘探开发全成本分析法,评价方法简单、易于操作,符合评价的要求,建立了一套符合川西探区的资源经济评价体系。本次资源评价刻度区来源于川西探区,刻度区的地理环境、埋深、油气品质、物性、储量丰度与待评价单元接近,符合类比条件,参数计算符合油气资源经济性评价技术要求,计算结果规范合理,可为今后工作提供依据。

设计效率	≥ 88%
载热介质	水、蒸汽
制造日期	2002 年 12 月
制造厂家	郑州锅炉厂

表 4 配套燃烧器技术参数

燃烧器型号	HVLR340
额定功率	3400kW
风机电机功率	10kW
适应燃料	天然气、液化气、城市煤气
额定燃气耗量(天然气)	280Nm ³ /h
阀组通径	DN65
调节比	5:1
制造厂家	江苏汉威燃烧科技有限公司

5 结论与认识

①燃烧器安装接口和燃气阀组安装接口尺寸、走向和方位相同,只要更换燃烧机和控制系统,方便快捷,工作量少;

②改造时只要更换燃烧机和加装烟气外循环管路,无需对锅炉进行更多改造工作;

③改造后的排放效果好,使用烟气外循环和不使用烟气外循环,两种方案都能满足河南油田 NO_x 限值 < 50mg/Nm³ 的要求;

④使用烟气外循环技术,系统相对复杂,增加烟气回收管道施工和冷凝水排放处理;

⑤使用烟气外循环技术后,烟气量加大、烟气夹带冷凝水,排烟热损失略有增加。

参考文献:

- [1] 白晓彤,李明峰,加热炉负荷率与能耗关系研究[J].当代化工,2015,44(8):1935-1936.
- [2] 李明.低氮燃烧改造对 NO_x 排放效果研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [3] 高明.低氮燃烧器及烟气脱硝技术研究[J].广州化工,2012,40(17):18-22.
- [4] 张宝等.低氮燃烧器改造存在问题分析[J].施工技术,2015,22(5).
- [5] 刘志江.低氮燃烧器改造存在问题处理[J].热力发电,2013(03):77-83.

作者简介:

王群章(1962-),男,高级工程师,硕士,现从事石油机械工程技术工作。

参考文献:

- [1] 郭秋麟,谢红兵,黄旭楠,陈宁生,胡俊文.油气资源评价方法体系与应用[M].北京:石油工业出版社,2016.
- [2] 宋振响,陆建林,周卓明等.常规油气资源评价方法研究与发展方向[J].中国石油勘探,2017,22(3):21-31.
- [3] 黄旭楠,董大忠,王玉满等.非常规油气资源经济性评价方法与案例[J].天然气地球科学,2016,27(9):1651-1658.

作者简介:

马丽梅(1971-),女,本科,1994 年本科毕业于成都理工大学石油地质与勘查专业,现在中国石化西南油气分公司勘探开发研究院从事储量计算与上市储量评估方面的研究工作。