

Safety Interlock Protection and Inspection of Low Nitrogen Burner of Gas Boiler

Yongli Wang Qiang Wang

Beijing Chaoyang District Special Equipment Inspection & Testing Institute, Beijing, 100122, China

Abstract

Based on the boiler low-nitrogen retrofit project inspection that the author has experienced, the paper analyzes the newly emerging low-nitrogen burners, mainly analyzing the characteristics of commonly used low-nitrogen combustion technologies for staged combustion, flue gas recirculation, and lean-burn premixed surface combustion; identification of the main parts of the nitrogen new technology burner, such as the program controller, flame monitoring, valve group leak detection, etc.; possible causes of the burner deflagration; combined with the principle of burner safety interlock, summarizes a set of inspection methods and the solutions after the test failure; sorted out the code after the new interlock alarm. Provide a reference for boiler low-nitrogen transformation to ensure the safe operation of boilers.

Keywords

gas boiler; low nitrogen burner; protection and inspection

燃气锅炉低氮燃烧器安全联锁保护与检验

王永利 王强

北京市朝阳区特种设备检测所, 中国·北京 100122

摘要

论文结合笔者经历的锅炉低氮改造工程检验, 对新出现的低氮燃烧器进行分析, 主要分析了分级燃烧、烟气再循环、贫燃预混表面燃烧常用低氮燃烧技术的特点; 采用低氮新技术燃烧器的程控器、火焰监测、阀组检漏等主要配件识别; 可能导致燃烧器爆燃的原因; 结合燃烧器安全联锁的原理, 总结了一套检验方法, 试验失败的后解决方法; 整理了新型联锁报警后的代码。为锅炉低氮改造提供借鉴, 保障锅炉安全运行。

关键词

燃气锅炉; 低氮燃烧器; 保护与检验

1 背景

DB 11/ 139—2015《锅炉大气污染物排放标准》(中国北京市环境保护局与北京市质量技术监督局于2015年5月13日颁布, 2015年7月1日实施)对氮氧化物的排放限值更加严格, 2017年3月31日前新建锅炉不高于 80 mg/m^3 。2017年4月1日后新建锅炉不高于 30 mg/m^3 。2017年4月1日后在用锅炉不高于 80 mg/m^3 (高污染燃料禁燃区)^[1]。该新标准已达到全世界最高燃气锅炉氮氧化物排放标准, 因此大部分的锅炉需要进行低氮改造, 为此引进了大量的低氮燃烧器(氮氧化物的排放限值满足以上要求)。对承压设备检验工作, 有完整的检验标准体系, 而燃烧器检验尚无规范统一的检验方法, 新型低氮燃烧器控制复杂, 更需要加强管理。

2 低氮燃烧技术分析

2.1 NO_x 按生成原理分类

燃料型 NO_x 由燃料中氮化合物在燃烧中氧化而成。快速型 NO_x 在碳氢燃料燃烧且富燃料的情况下, 反应区会快速生成 NO_x。热力型 NO_x 是指燃烧用空气中的 N₂ 在高温下氧化生成 NO_x。天然气中含氮量较低, 因此, 热力型 NO_x 是其主要的控制类型。

2.2 热力型 NO_x 的生成机理

采用捷里道维奇机理: 当温度低于 1500℃时, 热力 NO_x 的生成量很少; 高于 1500℃时, 温度每升高 100℃, 反应速度将增大 6~7 倍。还与空气氧浓度、氮浓度及在高温区停留的时间有关。

2.3 低氮燃烧技术

传统燃气燃烧器采用扩散燃烧方式，火焰稳定，用空气伺服马达控制联动机械连杆，同步燃气蝶阀开度，操作更加安全。是我市锅炉煤改气工程中主要采用此类技术，但由于其火焰内存在局部高温区，会产生相对较多的热力型 NO_x。现有低 NO_x 燃烧技术主要围绕如何降低燃烧温度，减少热力型 NO_x 生成开展的。主要有分级燃烧、烟气再循环、贫燃预混燃烧技术。低氮燃烧技术的组合是超低氮燃烧技术的大趋势。

2.3.1 分级燃烧

热力型 NO_x 生成很大程度上取决于燃烧温度。燃烧温度在当量比为 1 的情况下达到最高，在贫燃或者富燃的情况下进行燃烧，燃烧温度会下降很多。运用该原理开发出了分级燃烧技术。空气分级燃烧第一级是富燃料燃烧，在第二级加入过量空气，为贫燃燃烧，两级之间加入空气冷却以保证燃烧温度不至于太高。燃料分级燃烧与空气分级燃烧正好相反，第一级为燃料稀相燃烧，而在第二级加入燃料使当量比达到要求的数值。这两种方法最终会使整个系统的过量空气系数保持一个定值。主要在低 NO_x 值 80mg 以下采用。

2.3.2 烟气再循环

燃烧温度的降低可以通过在火焰区域加入烟气来实现，加入的烟气吸热从而降低了燃烧温度。通过将烟气的燃烧产物加入到燃烧区域内，不仅降低了燃烧温度，减少了 NO_x 生成；同时加入的烟气降低了氧气的分压，这将减弱氧气与氮气生成热力型 NO_x 的过程，从而减少 NO_x 的生成。内部烟气再循环主要通过高速喷射火焰的卷吸作用或旋流燃烧器使气流产生旋转达到循环效果。外部烟气再循环可以减少 70% 的 NO_x 生成。外循环比例对 NO_x 控制效果也有较大影响，随着外循环比例的增加 NO_x 降低幅度也更加明显，但循环风机电耗也将增加。随着气温变化和烟气占比变化，需要及时调节配比，运行中易震动。在分级燃烧头的基础上采用 FGR 技术可以达到低 NO_x 值 30mg 以下。

2.3.3 预混燃烧

预混燃烧是指在混合物点燃之前燃料与氧化剂在分子层面上完全混合，对于控制 NO_x 的生成来说，这项技术的优点是可以当量比的完全控制实现对燃烧温度的控制，从而降低热力型 NO_x 生成速率，另外，完全预混还可以减少因过量空气系数不均匀性所导致的对 NO_x 生成控制的降低。但是

预混气体由于其高度可燃性可能会导致回火，过高的过量空气系数会导致排烟损失的增加。贫燃预混加表面燃烧技术可实现低 NO_x 值 20mg 以下。

3 燃烧器主要配件

目前低氮燃烧器虽然作为特种设备的一部分，但尚未要求生产资质。而是采用对生产厂家的燃烧器进行型式试验的方式管理。燃油（气）锅炉燃烧器应当符合《燃油（气）燃烧器安全技术规则》（TSG ZB001）的要求，按照《燃油（气）燃烧器型式试验规则》（TSG B002）的要求进行型式试验，取得型式试验合格证书，方可投入使用；“燃烧器主要配件发生变更时，燃烧器制造单位应当向原型式试验机构提交书面变更说明，如果变更可能对燃烧器安全性造成影响，则应当进行型式试验^[2]。所以首先要核查型式试验证书和报告，现场配件与型式试验时是否一致，如果不一致是否做了备案说明。



燃烧头



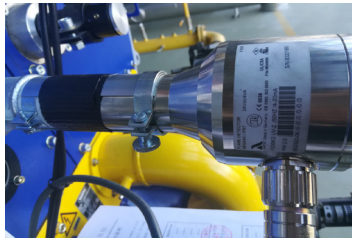
点火变压器



程控器



燃气阀组



火焰监视器



伺服马达

图1 燃烧器主要配件

3.1 燃烧头

其形状是低氮燃烧器的核心，利用空气动力学结合燃烧技术制作出的燃气喷嘴和布风盘，使燃气均匀稳定燃烧，形成预定的火焰形状。直流火焰、旋流火焰、组合式火焰，扩散燃烧、分级燃烧、预混燃烧、烟气内循环技术，都与燃烧头形状密不可分。其结构变化要重新做型式实验。但由于在炉膛内，不容易看到。

3.2 程控器

燃烧器的控制单位，预设了燃烧器整个运行过程的时序，时间、检测信号，故障触发后的动作。当在炉膛内可燃气体与空气的混合物浓度达到爆炸极限，在遇到明火的情况下容易发生锅炉爆燃。所以必须设置点火程序，总的原则是先空气吹扫，再进行点火，先点小火再点大火。室燃锅炉应当装设点火程序控制装置和熄火保护装置，并且满足下列要求：

在点火程序控制中，点火前的总通风量应当不小于3倍的从炉膛到烟囱进口烟道总容积；锅壳锅炉、贯流锅炉和非发电用直流锅炉的通风时间至少持续20s，水管锅炉的通风时间至少持续60s，电站锅炉的通风时间一般应当持续3min以上；熄火保护装置动作时，应当保证自动切断燃料供给，对A级锅炉还应当对炉膛和烟道进行充分吹扫^[1]。

另外设定风机电机频率，前吹扫时间、检漏时间、点火监测时间、主火监测时间，空气、燃气伺服马达、烟气伺服马达的运行角度，检漏型式，安全链允许次数等也需要

在程控器中设定。程控器变化需要重新型式试验。以前的LFL1.333已不能满足精确调节的要求。

程控器主要有LAMTEC BT300系列程控器（BT320，BT330，BT340），LAMTEC Etamatic系列程控器Etamatic、Etamatic s，SIEMENS LMV系列程控器LMV27、LMV37，LMV51、LMV52 Autoflame的minimk8（中文菜单）。

3.3 点火变压器

在点火时产生高压（8KV以上），通过点火电极放电产生电火花，为点火燃气提供火种。单电极点火变压器与稳焰盘打火、双电极点火变压器与自己的电极打火。点火电极位置改变，电极污损会造成点火失败。点火变压器变化需要提供安全说明进行备案

3.4 伺服马达

电子调节的重要执行元件，执行程控器的统一发出的指令，通过空气伺服马达、燃气伺服马达、回流烟气伺服马达的转动角度，自动驱动空气挡板、燃气蝶阀、回流烟气蝶阀，步进可以达到零点几度的微调，以达到精准的空燃比，实现在每个工况下的低氮燃烧。通过烟气分析仪的数据，预设完成燃烧曲线。由于是分别转动所以需要协调同步，避免误动作，在大角度下点火。调节时先调大空气再调大燃气角度。有的程控器对伺服电机有位置反馈检测，一旦偏离预设值会发出报警，但偏离值不能设置过大。根据调节对象的负载选用相应的扭矩、转速的伺服马达，对伺服马达变化需要安全说明进行备案。

3.5 燃气安全切断阀

为了防止漏气到炉膛，燃气管路上要安装串联两只电磁阀或安装燃气阀组。大于1200kw的燃烧器要配备阀门检漏装置。常见有DUNGS、SIMENS生产的电磁阀。安全切断阀变化需要备案。

3.6 火焰监测器，

是重要的安全保护元件。监视点火火焰和运行中的火焰，按照点火和运行中的意外，可分为点火安全时间和熄火安全时间。点火安全时间是指无点火火焰形成时，到点火燃料控制阀开始动作的最长时间，一般小于5s。熄火安全时间是指燃烧器运行过程中火焰熄灭时，从火焰熄灭起至主燃料控制阀开始关闭的时间间隔，要小于1s。

4 燃烧器安全联锁保护的试验

为保证燃烧器安全运行,设置了熄火、检漏、燃气压力低、燃气压力高、风压低保护装置。另外锅炉的温度、压力、水位超限也要连锁保护。每项试验需要选择适当的时机和拆卸调节一些装置模拟故障工况,人为制造所需的故障信号,触发程控器动作,发出相应的报警信号,以验证保护装置的完好灵敏性。

4.1 启动程序

选择试验时机首先要了解燃烧器的启动程序,通常的启动顺序如下。

4.1.1 检测启动外部条件

安全回路信号(温度、压力、循环泵、水位、燃气压力等)。

4.1.2 前吹扫

启动风机,风机挡板由关闭状态趋于大风位(大火位),伺服马达转至上限位,风机挡板停止在“大火位”进行前吹扫,伺服马达停滞在上限位。期间风压开关将检测到的风压信号传送至程控器即检测到风机正常运转。

4.1.3 在吹扫同时阀组检漏

程控器通过检漏双电磁阀自带的压力开关,对其自身进行泄露检测,如果发现电磁阀泄露则燃烧器停止运行,并输出报警信号,如果检漏通过则继续吹扫步骤。

4.1.4 点小火

前吹扫完毕后风门挡板关小返回到点火位,伺服马达停在点火位。燃烧器自动启动点火变压器(点火变压器得电,点火电极放电打火)。点火电极打火1~3s后,点火气路的电磁阀自动打开,点火火焰建立,此时火焰探头将检测到的火焰信号持续的反馈到程控器,若检测不到火焰则燃烧器停止工作,并输出报警。

4.1.5 主火焰启动

点火电磁阀打开后,点火变压器失电(断电),点火电极停止放电。同时,主回路电磁阀打开(得电),主火焰建立。

4.1.6 自动运行

主回路电磁阀打开后,点火气路电磁阀失电断气(大型机有不关断的长明灯模式),主火逐渐加大燃烧,根据负荷进入自动调节状态^[4]。

4.2 燃烧器安全联锁保护试验顺序

根据运行程序,燃烧器安全联锁保护试验顺序是,点火

前试验燃气压力低,检漏,风压低,点燃后试验熄火,火检不回装试验点火失败,火检回装后再次点燃试验燃气压力高。这样少拆装一次火检。虽然燃气压力低、风压低在运行中也可测,但这样测节省时间、燃料、相对安全。

4.3 燃气压力低试验

为防止燃气回火和低频共振燃烧,设置了燃压低连锁保护,当燃气压力低于设定值是燃烧器不启动,运行中燃气压力低时切断燃料供应。



燃压或检漏开关



风压开关



燃气压力高开关

图2 燃气压力开关与风压开关

试验方法：燃气压力开关一般位于阀组入口处，当与检漏开关共用时，位于两阀之间见图 2。旋转刻度盘高于当前压力值。如果入口压力高与燃压开关的最大量程，可适当关闭管道上的燃气球阀。模拟燃气压力低工况。有时程控器默认燃压低为 5 次后才进入安全连锁，需要重新设定。

4.4 检漏试验

为防止燃气切断阀组关闭不严，泄漏后燃气进入炉膛，每次点火前对阀组进行检漏测试。

4.4.1 VPS504 检漏装置

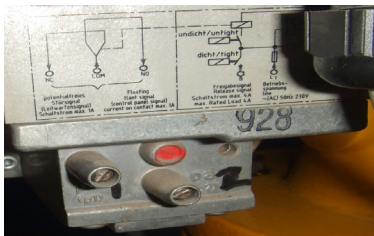
其原理是在阀组入口燃气通过隔膜泵抽到两个阀之间，如果阀门无泄漏，阀间压力可以很快升高，检漏通过。如果在 26s 内仍达不到 20mbar，则发出报警信号，燃烧器停止点火。



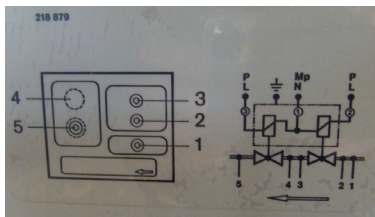
VPS504 检漏装置



MENS 电磁阀检漏压力开关



VPS504 检漏装置放气孔 p2



DUNGS 电磁阀检漏试验孔 3

图 3 检漏试验位置

试验方法：在启动前用螺丝刀将 VPS504 上 P2 位置的密封螺丝拧松如图 3 所示，这样隔膜泵无法保压。或者在阀组对应的 3 口上用内六角扳手拧松密封螺丝，模拟阀组泄漏。当运行到检漏程序时保压不成功，发出信号切断燃料供给。红色警报灯亮，需要人工按下复位。注意一定提前拧松，一旦点火成功了，检漏就不在监测了。

4.4.2 程序检漏装置

利用程序控制器给燃气阀组的两只阀门分别通电。检测燃气压力开关是否达到设定值，首先 burner 侧阀门送电排空后断电，此时检测压力是否升高。然后 gas 侧阀门送电充气后断电，此时检测压力是否降低。

试验方法：检漏燃气压力开关位于两阀之间如图 3 所示，通过调整压力开关的设定值，模拟阀组泄漏工况。

4.5 风压低保护

为防止异常进风量减少，如进风门被异物堵住，风门挡板卡住，造成燃烧不充分产生爆燃。当风压降低到设定值以下时，切断燃料供应。

试验方法：如图 2 所示，旋转风压开关刻度盘，调整到大于当前风压值。一般当运行到点火位时风门最小，会触发动作。也可以拔掉进入风压开关的进气软管。模拟风压低工况。

4.6 熄火保护

防止熄火后继续供气造成爆燃，一旦点火时安全时间内或运行中未检测到火焰信号，切断燃料供应。

试验方法：主火刚点燃后，从监视孔拔出电眼或在控制器端子断开接线离子探针如图 1 所示，人为失去火焰信号，模拟运行中熄火。这时应切断燃料供应，发出报警信号，进入锁定状态。此时不回装火焰监测装置，程控器复位后再次启动燃烧器，试验点火失败，模拟检测不到火焰信号的工况。有时燃烧器设置为了迎合无人值守理念，熄火设置了自动复位功能，可以 5 次以后才进入安全连锁状态，需修改。

4.7 燃气压力高

燃气压力过高会造成燃烧器火焰脱火。当阀门出口处燃气压力值高于设定值时如图 2 所示，切断燃料供应。由于装在阀门出口处，在点火前此处无压力，所以需要在点火后测试。

试验方法：旋转刻度盘，调低燃气压力高保护值小于当前的燃气压力，切断燃料供应。燃压高保护开关上红色的按钮是复位按钮。