

# 青藏高原地区WNS型燃气热水锅炉NO<sub>x</sub>排放数据分析

李江<sup>1</sup> 于吉明<sup>2</sup> 高建民<sup>3</sup> 张万红<sup>4</sup> 王伟棚<sup>5</sup>

1. 青海省特种设备检验检测院 青海 西宁 810005
2. 中国特种设备检测研究院 北京 100029
3. 哈尔滨工业大学 黑龙江 哈尔滨 150001
4. 青海省特种设备检验检测院 青海 西宁 810005
5. 中国特种设备检测研究院 北京 100029

**摘要:** WNS型燃气热水锅炉在高原地区运行中普遍存在着NO<sub>x</sub>排放量高、热效率低、出力低等问题,本文采用能效测试与统计分析相结合方法,通过研究高原地区WNS型燃气热水锅炉NO<sub>x</sub>生成机制及能效数据,对于优化锅炉节能环保和经济运行、减少NO<sub>x</sub>排放具有重要意义。

**关键词:** 青藏高原地区、WNS型燃气热水锅炉、NO<sub>x</sub>排放、数据分析

## 1 引言

卜银坤<sup>[3]</sup>认为,目前的燃烧理论中,工业锅炉燃烧过程中生成的NO<sub>x</sub>有热力型、燃料型和快速型3种,天然气锅炉有利于热力型NO<sub>x</sub>的生成,仅用更换低氮燃烧器的方法来实现锅炉低氮燃烧是不现实的。杜勇博<sup>[4]</sup>等人认为,锅炉在高原运行时,低气压的环境条件会影响锅炉的燃烧与传热性能,最终导致锅炉热效率下降、出力不足等一系列问题。青藏高原地区一般使用WNS型燃气热水锅炉供暖,由于海拔高、气压低、空气含氧量低等特点,锅炉热效率低、出力低,较高的NO<sub>x</sub>更是污染物的主要来源。

## 2 分析方法

为了深入研究高原WNS型燃气热水锅炉的NO<sub>x</sub>排放问题,本次测试按GB/T10180—2017《工业锅炉热工性能试验规程》的要求对WNS型燃气热水锅炉进行了锅炉能效测试,并采用了测试数据统计分析的方法。通过收集不同海拔、不同型号、不同负荷状态下锅炉的NO<sub>x</sub>排放数据,我们可以分析出NO<sub>x</sub>排放与运行参数之间的关系。首先,在高海拔地区实际测试锅炉各项参数,收集锅炉的实际运行数据,主要包括烟气成分、过量空气系数等关键参数;然后运用统计分析方法分析这些主要参数与NO<sub>x</sub>

排放量之间的关系,确定影响NO<sub>x</sub>排放的关键因素。最后,根据分析结果,提出控制NO<sub>x</sub>排放的措施。

## 3 数据分析与结果

### 3.1 高原地区WNS型燃气热水锅炉的NO<sub>x</sub>排放情况

此次在青藏高原地区测试了89台额定压力小于3.8MPa以下的WNS型燃气热水锅炉,分布于海拔2150~3078米,平均海拔为2614米。按照GB/T10180—2017《工业锅炉热工性能试验规程》的要求,在锅炉运行工况下进行了热效率详细测试;其中,氮氧化物采用了HJ 692《固定污染源废气氮氧化物的测定非分散红外吸收法》的方法测定。采集到的数据用2次反平衡法进行评价;在此条件下WNS型燃气热水锅炉NO<sub>x</sub>排放量平均值为120mg/m<sup>3</sup>,如图1所示。

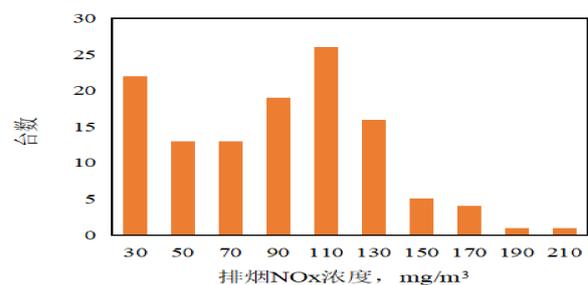


图1

这一结果表明,由于高原地区缺氧条件的影响,天然气在锅炉内可能未能充分燃烧,导致燃烧产物中含有较多的NO<sub>x</sub>;部分锅炉由于燃烧控制系统不够精确或调节不当,使得燃烧过程中的氧气供应、燃料流量和燃烧温度等参数未能达到最佳状态,从而增加了NO<sub>x</sub>的生成。

### 3.2 高海拔地区WNS型燃气热水锅炉的过量空气系

**1基金项目:** 国家市场监督管理总局科技计划项目“基于高原环境下的典型燃气工业锅炉NO<sub>x</sub>排放特性研究”(2022MK128)。

**作者:** 李江(1987-),男,青海,本科,工程师,主要研究方向为锅炉能效测试、定期检验。E-mail: 272068670@qq.com

数和热效率

此次测试烟气成分测量部位选择在锅炉尾部烟道最后一受热面处,目的是准确测量和评估高海拔地区燃气锅炉的实际过量空气系数。测试结果显示,在高原地区WNS型燃气热水锅炉的过量空气系数分布于1.0~1.9区间,平均值为1.4,远高于TSG 91—2021《锅炉节能环保技术规程》中的规定值1.15,见图2。这一结果表明,海拔越高,单位空气中的氧气含量越低,锅炉在燃烧过程中供给的空气量严重超过燃料完全燃烧所需空气量,使得烟气体积增加,从而导致过量空气系数偏大。过量的空气还会增加排烟热损失 $q_2$ ,降低锅炉热效率<sup>[2]</sup>。

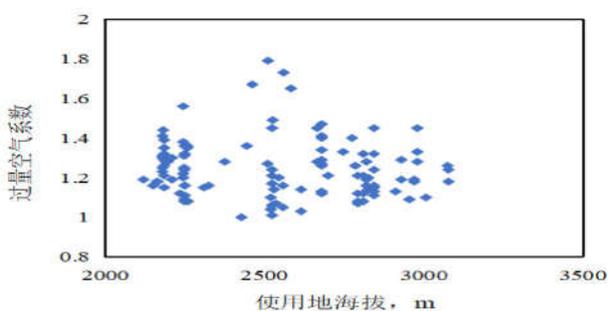


图2

结果显示在高海拔地区,由于大气压力和氧气含量的变化,燃气锅炉的运行条件与低海拔地区存在显著差

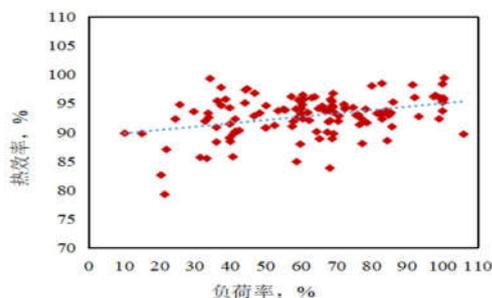
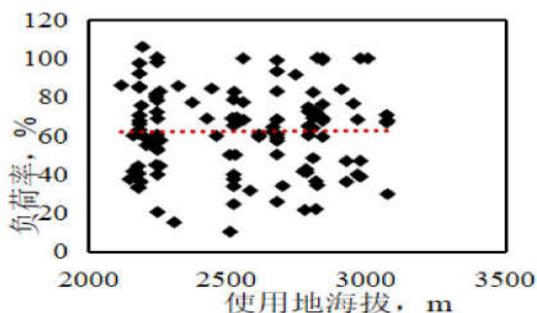


图3

另一种值得关注的燃烧技术是分级燃烧<sup>[5]</sup>。这种方法是第一阶段燃料在缺氧的条件下进行部分燃烧,产生大量的还原性气体;在第二阶段,剩余燃料与还原性气体在富氧条件下进行完全燃烧,可以降低燃烧温度,减少 $\text{NO}_x$ 的生成,并提高燃烧效率。通过合理调整两阶段的燃料分配和氧气供应,可以进一步优化分级燃烧的效果。

4.2 优化燃烧器。更换相匹配的高原型燃烧器<sup>[6]</sup>也是解决高原地区锅炉燃烧问题的一种有效方法。通过综合考虑锅炉的具体型号、燃料类型、运行工况以及高原地区的具体环境条件,经过精确的计算和试验验证,选择

最合适的燃烧器类型和参数配置,以实现最佳的燃烧效果 and 经济效益。

### 3.3 高海拔地区WNS型燃气热水锅炉的运行情况

此次测试的WNS型燃气热水锅炉在海拔2150~3078米运行时,锅炉负荷普遍不高。为了确保供暖时的安全与稳定,测试的锅炉采用了低负荷运行的策略。一般情况下,空气密度的下降使得进风量受到限制,进而影响了锅炉内部的氧气供应,锅炉在高原环境下低负荷运行时,天然气在缺氧的环境下燃烧会变得更加不充分,这不仅会导致热效率的降低,还容易促使部分燃烧过程中产生的中间产物转化为 $\text{NO}_x$ ,从而增加了 $\text{NO}_x$ 的生成。见图3。

### 4 控制措施与建议

基于上述分析结果,提出以下控制措施与建议:

4.1 优化燃烧方式。在面对高原地区特殊环境条件时,一种有效的优化燃烧方式是采用预混燃烧技术。这种燃烧方式是将燃料与空气在燃烧前进行充分混合,形成均匀的可燃混合气体,可以使燃料更加充分地燃烧,提高燃烧效率,同时降低燃烧温度,从而减少 $\text{NO}_x$ 的生成。通过精确控制燃料与空气的混合比例,可以进一步优化燃烧过程,实现更加高效、清洁的燃烧。

最合适的燃烧器类型和参数配置,以实现最佳的燃烧效果 and 经济效益。

4.3 合理匹配锅炉本体。通过更换燃烧器来优化WNS型燃气热水锅炉的燃烧效果时,部分锅炉产生了燃烧器与炉膛尺寸不匹配的问题。其中最为显著的是火焰冲刷回燃室后管板,导致过烧现象的发生。过烧不仅会损害锅炉的结构完整性,还可能影响锅炉的安全运行和整体性能。为了避免这种不匹配现象,当锅炉更换为大功率燃烧器时,必须同时考虑锅炉本体结构的适应性调整<sup>[1]</sup>。特别是炉胆长度,它应随着燃烧器功率的增加而相

应延长，以确保火焰能够充分展开并在炉膛内得到有效的冷却和换热。炉胆长度的增加不仅有助于优化火焰形状和燃烧过程，还能减少燃烧产物在高温区域的停留时间，从而降低NO<sub>x</sub>的生成量。

此外，增加炉膛容积也是提高锅炉负荷和减少NO<sub>x</sub>生成的有效手段。更大的炉膛容积可以提供更充分的燃烧空间和换热面积，使得燃料能够更加均匀地燃烧并释放出更多的热能。同时，更长的停留时间和更大的换热面积也有助于提高锅炉的热效率，使得更多的热能能够被有效利用。需要注意的是，在调整锅炉本体结构时，必须严格遵守相关的安全规范和标准。任何对锅炉结构的改动都应经过充分的计算和试验验证，以确保锅炉在改动后的安全运行和性能优化。

4.4 控制过量空气系数。高原地区锅炉燃烧时，在一氧化碳含量为 0 ppm 的前提下，锅炉空气系数应控制在 1.15 以下<sup>[2]</sup>。确定合理的过量空气系数是确保锅炉高效、环保运行的关键。具体的过量空气系数值需要根据锅炉的类型、燃料特性、燃烧方式等因素进行综合考虑和实验确定。在锅炉的实际运行过程中，还需要通过合理的配风和控制手段，使过量空气系数保持在合适的范围内，以实现锅炉的高效、清洁燃烧。

4.5 适当提高运行负荷。在高原地区运行WNS型燃气热水锅炉时，适当提高运行负荷是优化燃烧性能、减少NO<sub>x</sub>生成和提高锅炉热效率的有效手段之一。首先，增加负荷会导致烟气量增加，从而加快烟气在锅炉内的流动速度。这将有效减少燃烧产物在高温区域的停留时

间，降低NO<sub>x</sub>的生成量。因为NO<sub>x</sub>主要是在高温和富氧条件下由燃料中的氮元素和空气中的氧气反应生成，所以缩短高温停留时间是控制NO<sub>x</sub>排放的有效策略。其次，适当提高负荷还可以提高锅炉的热效率。在低负荷运行时，锅炉的燃烧效率和换热效率都可能受到不利影响，导致热能损失增加。通过提高负荷，可以更加充分地利用燃料中的热能，提高锅炉的出力和热效率。同时，增加的烟气量也有助于提高锅炉内的对流换热系数，从而增强换热效果。

需要注意的是，提高负荷应在确保锅炉安全运行的前提下进行。过高的负荷可能导致锅炉超温、超压等安全隐患，因此需要综合考虑锅炉的设计参数、运行经验和环境条件来确定合适的负荷范围。

#### 参考文献

- [1]于吉明,笪耀东等.高原WNS型燃气热水锅炉能效测试与数据分析[J].中国特种设备安全.2022(12); 48-51.
- [2]曹生宁,续晨帆等.高海拔地区燃气锅炉过量空气系数的选取[J].节能技术.2023(09); 432-434.
- [3]卜银坤.关于锅炉NO<sub>x</sub>生成机理及科学超低排放的理论研究[J].工业锅炉,2016(04):8-16.
- [4]杜勇博;笪耀东;刘学敏等.高原锅炉运行性能及设计方法的研究进展[J].工业锅炉,2020,(06):1-7.
- [5]刘少林,吴金星,倪硕等.中小型燃气锅炉NO<sub>x</sub>源头控制及低氮燃烧技术研究进展[J].工业锅炉,2017,(05):17-23+27.