

# 锅炉低氮燃烧改造与高温腐蚀控制分析

赵新伟

(新疆煤田地质局综合地质勘察队, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 我国制造业日益达到兴盛的局面, 配套的锅炉排气污染也日益严重。从 20 世纪 90 年代始, 国家出台了一系列对锅炉排气(即氮氧化合物)的排放政策或要求, 各种类型的锅炉厂均先后进行了低氮技术改造。为此, 本文以此为切入点, 对氮氧化合物生成的原因和高温腐蚀发生的原因分别进行了分析, 并对整改措施予以一一列举。以期为其他类型的锅炉改造提供全面的理论指导, 并对未来可能出现的状况进行了展望, 提出了相应见解。

**关键词:** 锅炉; 低氮改造; 高温腐蚀

**中图分类号:** TK227.1

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.05.013

近年来, 我国大型火电厂不断发展, 锅炉所采用低氮燃烧技术的普及已不足为奇, 由此诞生了一些高参数锅炉, 如超临界、超超临界等技术也逐渐在锅炉燃烧中占据了一席之地。这些锅炉的投产使得运行时间变长, 高温腐蚀现象也逐渐暴露, 成了对锅炉稳定运行产生重大影响的因素。究其原因, 大量研究表明是由于锅炉在燃烧过程中产生的烟气中含有的 CO 所造成的, 且浓度大小也对高温腐蚀的严重程度具有一定影响。同时,  $H_2S$  的存在会对燃烧器的金属管壁造成腐蚀, 即使在浓度为 1% 的情况下, 亦是如此。具有还原性的 CO 也会加速  $H_2S$  的生成, 加剧腐蚀。还有一些其他含硫化合物, 如  $SO_2$ 、 $SO_3$ , 这些腐蚀气体的存在, 加速了锅炉水在高温下的腐蚀速度。我国一直以来都把环保放在首位, 对环保的要求也不断提高, 目前国内大小型锅炉产业也必须积极响应国家政策的号召。实施低氮燃烧技术是满足低氮排放的有效途径, 低  $NO_x$  燃烧技术的原理如下: 降低主燃烧区的过量空气系数, 以降低燃料型  $NO_x$  的含量。但是, 低  $NO_x$  燃烧技术在主燃烧区和还原区引入了更多还原性气体, 为锅炉的安全保障和经济发展带来了隐患。

低  $NO_x$  燃烧技术在降低氮氧化合物含量的同时, 也带来了一定隐患, 其中, 加剧了高温腐蚀的严重程度最为突出。因此, 本文结合锅炉低氮燃烧技术应用的必要性, 在分析高温腐蚀产生原因的基础上, 探讨了低氮燃烧与高温腐蚀之间的关联性并

提出了相应措施, 以缓解目前我国锅炉产业面对的困境。

## 1 锅炉低氮燃烧改造的原因

### 1.1 $NO_x$ 生成的原因

锅炉在改造前氮氧化合物排放量较大, 浓度较高。燃烧器必须在距离风喷口较近的位置才能达到着火温度要求, 着火性能较差。且运行过程中还要进行燃烧器二次风的增加, 才能保证燃烧的稳定进行。而锅炉内  $NO_x$  产生的原因, 主要有表 1 中几种类型。可以发现, 温度高低对  $NO_x$  的生成具有较大影响, 通常温度在不大于 1 600 K 时, 炉内  $NO_x$  的含量在很大程度上减少。

### 1.2 低氮燃烧改造的措施

(1) 低氮燃烧器的载入。此措施主要是从锅炉结构上进行改进, 原燃烧器火焰较为集中, 导致中心温度过高, 加剧了  $NO_x$  的产生<sup>[1]</sup>。更换为低氮燃烧器后, 采用分级方式输送燃烧和空气, 确保燃料和空气的充分混合, 达到稳定燃烧。最大改变是在喷嘴设计上, 这种将火焰推出再燃烧的技术从根本上遏制了温度集中高的问题, 既不脱火又不回火, 稳定燃烧, 能够减少 30% 甚至更多  $NO_x$  排放量。

(2) 空气分级技术。通过将空气分级, 以不同量输送至主燃烧区和燃尽区的途径, 能够合理控制燃烧区还原性气体的含

表 1 锅炉中  $NO_x$  生成的机理分析

$NO_x$ 类型	产生原因	温度范围	与温度的关系
燃料型	含氮化合物的热解和氧化	900 ~ 1 100 K	正相关
热力型	$N_2+O \rightarrow NO_x$	>1 600 K	正相关, 起决定性作用
快速型	CH 化合物高温分解后与 $N_2$ 反应, 形成了 CN、HCN、CN 等, 与 O 反应形成 $NO_x$	温度影响较小	相关性较小
NNH 型	$NNH+O \rightarrow NH+NO$	<1 600 K	正相关
$N_2O$ 型	$N_2O+O \rightarrow N_2+O_2$	中低温	正相关

量,降低风速,可减少15%~30%NO<sub>x</sub>的排放。

(3) 烟气再循环系统的载入烟气再循环系统,即将烟道上的部分烟气再次与空气混合后燃烧,降低温度的同时也使氧气含量减少,这项技术的应用可以减少NO<sub>x</sub>排放量的50%左右。不同型号锅炉的改进方法有所差异,小型锅炉可以直接在废气口处装载一个烟道引入进风口,相比大型锅炉较为容易一些。但废气进入进风口的比例和速率则需要得到很好的控制,否则会出现燃烧不彻底的现象,带来更多安全隐患<sup>[2]</sup>。

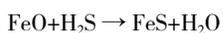
(4) 多孔介质燃烧。多孔介质燃烧,即将预混气体输送至多孔介质的表面或者内部孔隙而进行燃烧,从而良好蓄热和收集烟气产生的热能。将这些热量重新输送至燃烧区,可促进燃料和空气的充分燃烧<sup>[3]</sup>。

## 2 高温腐蚀的原因

高温腐蚀是一个极其复杂的过程,是物理反应和化学反应过程同时存在的结果。它与锅炉的结构设计有关,一些锅炉三级过热器位于渣管上方,当烟气从冷却室通过渣管转向三级过热器入口时,直接冲向三级过热器的支架。锅炉结构设计不合理,导致烟气偏聚,且该部位热量最集中,腐蚀最严重。同时,该位置会受到烟气向火侧的冲刷,在腐蚀和烟雾侵蚀的双重作用下,导致腐蚀加剧。

高温腐蚀后生成物的结构和成分主要为铁硫化物和氧化物,与炉内火焰温度的高低、原料含硫量的多少、烟气的成分含量、炉管的材质等有关。煤炭锅炉的腐蚀与硫化物的存在息息相关,垃圾锅炉腐蚀主要是由氯化物腐蚀引起的,不同原料和不同锅炉类型造成的高温腐蚀原因有所差异。锅炉水冷壁区域发生高温腐蚀的现象早已普遍存在,究其原因,根据产生机理的不同大致可以分为四种类型:硫酸盐型、硫化物型、氯化物型、还原性气体型高温腐蚀,如表2所示。

我国锅炉类型中导致高温腐蚀的主要原因是还原气体存在下硫化物的腐蚀,腐蚀程度与烟气中CO和H<sub>2</sub>S气体的浓度成正比相关。如以下反应式所示,FeS的存在会直接对金属管壁造成腐蚀。而炉内燃烧不当时,氧量不足会生成更多H<sub>2</sub>S,加剧高温腐蚀现象的发生。炉内长期缺氧得后果不堪设想,不能为了降低电耗而控制氧量,是得不偿失的举措。



当锅炉CO浓度大于0.01%时,高温腐蚀现象就开始出现了<sup>[4]</sup>,主要发生在金属管壁向火一侧。实际应用中会增加贴壁风来防止此类高温腐蚀现象的发生。此外,主燃烧器风量减少,煤质、氧量降低,还原性气体含量,炉膛温度和硫分含量等多种因素都会造成高温腐蚀,是多种因素共同引起的。因此,应该采取一些必要措施来预防,如进行防腐喷涂、合理控制空气系数,对炉管进行定期更换以及贴壁风的改造等,提升锅炉安全系数和使用寿命<sup>[5]</sup>。

目前大型火电厂锅炉受热面的高温腐蚀防治措施,主要有燃料混合比优化、燃烧系统工程改造(壁挂式风力发电机技术等)、燃烧优化调整,以及脱硫喷射等。这些技术措施都是积极的保障措施,可以在一定程度上减缓受热表面的高温腐蚀,但效果仍然有限。考虑到锅炉受热面高温腐蚀主动保护技术不完善的问题,近年来各大科研院所、金属表面处理公司和火电厂都将研究转向受热面表面改性处理。

## 3 低氮燃烧改造后锅炉高温腐蚀的控制性分析

### 3.1 低氮燃烧后高温腐蚀的影响

低氮改造应用中最为广泛的措施之一就是燃烬风的增加,这必然会造成主燃烧区氧的缺失,导致水冷壁表面CO和H<sub>2</sub>S聚集。同时,改造后炉内氮氧化物浓度降低,减温水量增加,灰、渣可燃物含量增加<sup>[6]</sup>,着火点也更为稳定,使风箱内风压迅速增加,造成锅炉内空气系数上升,增加了排烟量和减温水量。而减温水量不宜过大或过小,不适宜的减温水量都会使机组降负荷运转,增加炉膛吹灰。

低氮型燃烧器的引入,使得锅炉内主燃区原料燃烧不彻底,致使携带粉质的气流大面积接触水冷壁,造成高温腐蚀。一些亚临界锅炉在经过低氮改造后会造成为更严重的高温腐蚀,以及气温偏差增大。重整后炉膛出口烟温差小,整个炉膛温度升高,但水冷壁的温度在一定程度上有所降低,增加了高温腐蚀的可能性,容易发生爆管。但由于炉内NO<sub>x</sub>的降低,温度趋于稳定和均匀,炉膛下部冷灰斗区域极易产生高温,出现回流。针对此状,可增加底部风量,使炉内燃烧,阻止高温区的出现。

### 3.2 应对措施

(1) 优化燃烧器。可在锅炉内各层安装燃烧器,并在燃烧

表2 高温腐蚀产生的原因

类型	原因	结果
硫酸盐型	SO <sub>3</sub> 浓度较高	生成硫酸盐
硫化物型	游离态S和H <sub>2</sub> S	生成Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 和FeS
氯化物型	CO	生成FeO
还原性气体型	NaCl	生成FeCl <sub>2</sub>

表3 炉内氧量与负荷的关系

负荷/MW	1000~900	900~800	800~700	700~600	600~500
氧量占比/%	>2.0	>2.5	>3.0	>3.5	>4.5

表4 炉内防护涂层的类型及特性

防护涂层类型	特性
热喷涂涂层	超音速电弧、超音速火焰、等离子、爆炸喷涂等
熔覆涂层	工作效率高,节省时间
渗铝涂层	渗铝钢可耐高温和H <sub>2</sub> S气体的腐蚀
热固化反应纳米陶瓷涂层	复合陶瓷材料的抗腐蚀性比一般材料高得多

器内/外二次风扩锥处有倾斜角度的地方安装。此做法可扩大同流的面积,并更换燃烧器炉膛内高温区域的材料,可用耐高温材料替代,如合金材料,能够有效控制氧化的发生,且能够有效防止脱离和结构形变的发生。对燃烧器结构和材料的优化,也能够提高炉内燃烧效率。

(2) 防高温腐蚀空气的输送。在适当的区域增加氧量来减少炉内还原性气氛,炉内风量的输送可以减少燃尽风的比率,提升安全系数和降低氮氧化物排放量,并最大限度地节约了成本。但这并不代表氧含量越多越好,既要兼顾氮氧化物的排放量,也要考虑燃尽风的比例,在确保原料安全稳定燃烧的前提下,尽量做到环保排放,同时考虑到经济适用性。这三者均要兼顾并非一件易事。氧量与负荷对应的关系,如表3所示。

(3) 增大主燃区风量。低氮改造后主燃区内H<sub>2</sub>S和CO等还原性气体体积分数增大,在炉膛内产生了回流的效果,可通过增大托底风量来抑制在冷灰斗区产生的燃烧,从而阻止高温区域的出现<sup>[7]</sup>。同时,对风量的控制也能够防止炉内火焰发生倾斜而分布不均,也可用控制风量的阀门来对侧燃风进行调节,在炉内出现异常情况时可及时调整。

(4) 炉管内防腐层的喷涂。炉管内高温腐蚀会使得管壁逐渐变薄,容易发生爆管,存在较大安全隐患。因此,对炉管内壁进行表面修饰处理也能有效防止高温腐蚀现象。使用的防护涂层多种多样,根据手段的不同,大致可分为以下几种类型,如表4所示。

(5) 炉内脱硫剂的输送。脱硫剂的输送是主动防护的措施,能够有效减少炉内硫化物的浓度,从根本上遏制高温腐蚀的发生<sup>[8]</sup>。

#### 4 结语

低氮燃烧,能够大大减少氮氧化物的排放,有利于空气质量的改善,从而减少雾霾的产生,对国家的环保事业意义重大。此外,低氮燃烧可以有效阻止氮氧化物对人体健康带来的危害,是实现锅炉排放达标的重要举措,有助于我国经济的可持续发

展。研发新型低氮燃烧器在我国锅炉产业中具有深远的发展前景。当前,关于我国对低氮燃烧和高温腐蚀的改进举措的例子不胜枚举,具体有:一是燃烧器结构和材料的优化,可以对贴壁区的还原性气氛和气温差进行一定程度的改善,但并不能完全依赖于它。二是为防止高温造成的炉管腐蚀,可进行防腐层喷涂。三是防止有多种整改措施,需要多次加以实验后再推广。四是在机器运行时,应定期及时地查看炉内状况。五是不同型号和不同功率的锅炉设备解决高温腐蚀时,应采取差异性手法。

上述典型案例均为锅炉后期的实际应用指明了改造的“方向”。从专业角度看,这些“方向”还有一定的局限性,有待进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 许琼武. 燃氢锅炉超低氮燃烧技术的应用[J]. 氯碱工业, 2021, 57(10): 36-39.
- [2] 李守恒, 戚海洋. 燃气锅炉低氮改进面临的困境与检验重点研究[J]. 中国设备工程, 2021(19): 220-221.
- [3] 王晶, 廖昌建, 王海波, 等. 锅炉低氮燃烧技术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2022, 28(2): 99-114.
- [4] 陈彩云. 1000MW超超临界锅炉高温腐蚀分析及对策探讨[J]. 技术与市场, 2019, 26(1): 129, 131.
- [5] 冯贺. 低氮燃烧模式下锅炉水冷壁高温腐蚀分析及措施探讨[J]. 电工技术, 2022(3): 101-102, 106.
- [6] 贾宏禄. 锅炉低氮燃烧改造与高温腐蚀控制分析[J]. 电力科学与工程, 2015, 31(6): 68-73.
- [7] 李汝萍, 童家麟, 齐晓娟. 某亚临界锅炉低氮燃烧器改造后高温腐蚀控制[J]. 锅炉技术, 2018, 49(3): 51-56.
- [8] 程海松, 刘岗, 雷刚, 等. 燃煤锅炉受热面高温腐蚀防护涂层技术研究进展[J]. 材料导报, 2020, 34(S1): 433-435, 447.

作者简介: 赵新伟(1969-), 男, 河南扶沟人, 主要从事机电一体化及党政方向研究。