

谏壁电厂 9 号锅炉脱硝改造后运行调节分析及防范对策

周文奎，周 勇

（国电谏壁发电厂，江苏 镇江 212006）

摘 要：本文介绍了国电谏壁发电厂 9 号炉降低锅炉烟气的氮氧化物（NO_x）排放浓度的运行实践。通过低 NO_x 燃烧器技术改造和增加（SCR-液氨法）脱硝系统，有效降低了 NO_x 的生成，氮氧化物（NO_x）浓度达标排放，对改造后锅炉运行操作进行分析，并提出解决方案，对其他机组改造后提供运行指导和借鉴

关键词：低 NO_x 燃烧；脱硝系统；应对措施；防范对策

0 引言

国家环境保护部制定了《火电厂氮氧化物防治技术政策》并颁布实施。新标准规定 2014 年 7 月 1 日前现有火电机组都将执行氮氧化物排放浓度在重点地区（京津冀、环渤海湾、长三角、珠三角）不高于 100 mg/m³、非重点地区不高于 200 mg/m³的限值。我厂执行标准为不高于 100 mg/m³。

国电谏壁发电厂 9 号锅炉为实现 NO_x 达标排放。进行了低氮燃烧技术改造，改造后其氮氧化物排放浓度仍不达标，不满足 NO_x 总量控制要求，再对 9 号锅炉配置烟气脱硝设施（SCR 系统）。本文通过对锅炉低氮燃烧技术改造及烟气脱硝技术改造后运行情况进行分析，找出解决方案，对其他机组改造后提供运行指导和借鉴

1 9 号炉概述

国电谏壁发电厂 9 号锅炉由上海锅炉厂引进美国燃烧工程公司（CE 公司）技术进行设计、改造，将国产 1000t/h 直流炉改为控制循环锅炉。采用单炉体双切圆四角切向燃烧方式，制粉系统为四套中储式 TDM350-600 钢球磨，采用热风+烟气干燥。Π 型露天布置。炉膛宽度 17000mm，深度 8493mm，炉顶管标高 45500/46000mm，炉顶采用全密封结构，敷管式轻型炉墙。因机组属于早期机组，原设计时锅炉出口 NO_x 值按 ≥650 mg/m³，在机组改造时选用低氮燃烧器，效果仍不能满足环保要求，必须进行脱硝改造。

2 9 号炉的脱硝改造

2.1 低氮燃烧器改造

根据脱硝改造的技术路线，国电谏壁发电厂先后对 9 号炉进行低氮燃烧器改造，采用小改方式，即主燃烧器通流面积保持不变，燃烧器由水平浓淡改为上、下浓淡方式，且采用浓浓相连，A 层燃烧器为微油燃烧器，采用中心浓，四周淡的方式。更换一、二次风喷嘴，在主燃烧器上方增加 SOFA、TOFA 燃烧器。低氮燃烧器改造后，锅炉 NO_x 排放浓度从 600 mg/m³ 降至 300 mg/m³ 仍不能满足 GB13223-2011《火电厂大气污染物排放标准》，故必须增加锅炉脱硝系统。

2.2 增加（SCR-液氨法）脱硝系统

锅炉脱硝系统采用“高温高尘布置方式”的选择性催化还原法（SCR-液氨法），采用 2+1 层催化剂，二层运行，一层备用。布置在锅炉省煤器与空预器之间，由连接烟道、钢架、反应器、稀释风机、供氨系统、喷氨系统、测量控制系统等组成。氨站已随 1000MW 机组建成，只需增加一台蒸发器就能满足后期 330MW 机组脱硝改造氨的用量，故从氨站引出氨气至各炉脱硝系统即可。

2.2.1 SCR 工艺简介

选择性催化还原烟气脱硝技术（Selective Catalytic Reduction，简称 SCR）是一种操作控制简单、脱硝效率高的成熟技术。装在锅炉省煤器出口与空气预热器入口之间，其作用为使喷入之氨与烟气中之 NO_x 加速反应，实现脱硝。在此情况时，其有效反应之温度范围约在 320℃~400℃ 之间。

2.2.2 NO_x 与 NH₃（液氨）的反应过程

如图 1 所示，NO_x 与 NH₃ 加上二次风中的氧气在一定条件下生成氮气（惰性气体）和水随烟气排入大气，氮气为惰性气体，降低了 NO_x 的排放，减

轻了酸雨的生成和臭氧层破坏。降低了 NO_x对人类健康影响还包括“光化学烟雾”和“形成各种潜在的致癌物质

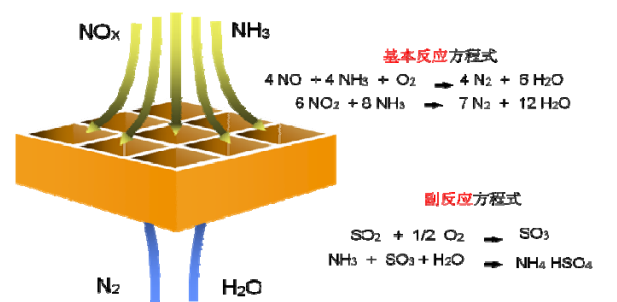


图 1 SCR-液氨法NO_x与NH₃的反应过程简图

2.2.3 化学反应的条件

在不添加催化剂的条件下，氨与氮氧化物的化学反应温度为 900℃。此时如果加入氨，部分氨会在高温下分解。如果加入催化剂，化学反应温度可以降低到 320~400℃。催化剂选用TiO₂为基体，其活性温度区间为 300~400℃，催化剂中通常还加入 V₂O₅和WoO₃，目的是增加活性和热稳定性。

3 运行应用分析

3.1 低氮改造前后的相关技术参数分析

低氮改造前后的相关技术参数见表 1。

表 1 低氮改造前后的相关技术参数

参数名称	单位	300MW		240MW		200MW	
		改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后
NO _x 浓度	mg/Nm ³	580	260	556	268	534	249
炉膛烟温	℃	953	893	864	802	806	753
排烟温度	℃	146	138	137	135.3	134	133
二次汽减温水量	t/h	7	8				
飞灰含碳量	%	1.18	1.20	1.27	1.35	1.24	1.54
炉膛氧量	%	3.05	3.0	3.48	3.11	3.93	3.63
锅炉效率	%	92.44	92.69	92.08	92.37	91.72	91.66

从以上数据可以看出，改造前后，锅炉经济性、环保性指标都有较大提高：修正后锅炉效率从 92.44%提高至 92.69%，提高 0.25%；NO_x排放（标干，6%O₂）从 580 mg/m³下降至 260 mg/m³，下降 320 mg/m³；修正后排烟温度从 146℃下降至 138℃，下降 8℃。飞灰含碳量略有上升。但需要说明锅炉效率增加与低氮燃烧器改造关系不大，主要是空预器传热面积增容，预热器传热效果增强。

3.2 （SCR-液氨法）脱硝系统投运分析

#9 机组脱硝运行情况见表 2。从表 2 数据可以看出：脱硝系统投运后，锅炉出口NO_x排放浓度满

足达标排放，通过不断的摸索调整，脱硝出口NO_x排放浓度下降，耗氨量下降。脱硝投运率达 100%。

表 1 #9 机组脱硝运行情况

名称	单位	13 年 05 月	13 年 04 月	环比上月	原因分析
NO _x 进口浓度	mg/m ³	307.39	306.54	↑0.85	
NO _x 排放浓度	mg/m ³	80.35	89.61	↓9.26	
脱硝效率	%	71.38	70.73	↑0.65	
液氨总耗量	t	55.504	31.48	↑24.024	上月停运 13 天
每日耗氨量	t	1.790	1.852	↓0.062	
脱硝投运率	%	100	56.67	↑43.33	上月停运 13 天

4 降低 NO_x 的应对措施

4.1 控制脱硝系统入口NO_x值

4.1.1 空气分级燃烧

空气分级燃烧是目前国内外普遍采用的、比较成熟的低NO_x燃烧技术。原理是将燃烧过程分阶段进行，首先将从主燃烧器供入炉膛的空气减少到总燃烧空气量的 70% ~75%，相当于理论空气量的 80%，此时的a<1，使燃料先在缺氧条件下燃烧，在还原性气氛中降低NO_x生成速率。完全燃烧所需要的其余空气量则通过布置在主燃烧器上方的SOFA 喷口送入炉膛，与一级燃烧区所产生的烟气混合，最终在a>1 的条件下完成全部燃烧过程。从而在还原性气氛下促使燃料氮转变成成为分子氮（N₂）。运行中必须遵循低氮燃烧调节为主要调节，（SCR-液氨法）脱硝系统喷氨为细调的原则，增大高位燃尽风份额，主燃烧区配风份额相应减少，能大幅降低 NO_x排放，正常运行时保持高位燃尽风开足，A、B、C层二次风节流，D、E二次风关至 30%，则脱硝系统入口NO_x下降较多

4.1.2 降低一次风O₂含量

一次风氧浓度的减少，使火焰温度降低，抑制燃烧速度，减少热力型 NO_x。炉烟风机抽取的烟气经制粉系统干燥后作为一次风送粉入炉内，降低了一次风的含氧量。对降低锅炉的 NO_x 排放有利。通过改变炕烟风机变频转速即可达到调节目。

4.1.3 机组负荷对 NO_x 的影响

机组负荷愈高，对应二次风量增加，一次风在保证送粉正常的前提下，风速变化很小，一、二次风配比较好，锅炉燃烧区域欠氧燃烧便于调节，SOFA 区域还原氛围增加，锅炉出口 NO_x 值呈下降趋势。

4.1.4 燃烧器的煤粉浓度对 NO_x 的影响

煤粉浓度愈高，燃烧器周围O₂氛围愈低，抑制

了新的 NO_x 的生成, NO_x 浓度下降。下层燃烧器投粉愈多, 上层燃烧器投粉愈少, 分级燃烧愈强, NO_x 浓度下降愈多。

4.1.5 煤质变化(挥发分高有利)对 NO_x 的影响

挥发分高, 着火提前, 炉膛中心区域温度较低, 对抑制生成或破坏已生成 NO_x 有利, NO_x 浓度下降

4.2 控制脱硝系统出口 NO_x 值

控制脱硝系统出口 NO_x 值必须时刻保持低于 100 mg/m^3 的原则, 监视烟囱入口 NO_x 值必须保持低于 100 mg/m^3 , 满足环保需求。加强脱硝系统各表计的综合分析, 综合调节, 炉侧控制脱硝出口 NO_x 在 $70\sim 80 \text{ mg/m}^3$, 脱硝效率 $> 50\%$, 正常控制在 $70\sim 85\%$ 为宜。单侧喷氨量控制在 $40\sim 50 \text{ kg/h}$ 。图 2 为#9 机组进出口 NO_x 浓度和喷氨量趋势分析。

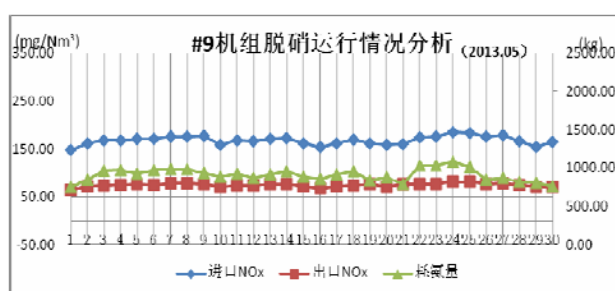


图 2 #9 机组进出口 NO_x 浓度和喷氨量趋势分析

4.3 控制炉膛出口 O_2 值

不同的氧量对应的 NO_x 的排放量不同, 随着氧量的增大, 飞灰可燃物减小, 针对不同的煤质氧量增大到一定程度, 飞灰可燃物不再减小, 相反排烟热损失增大, 而 NO_x 却随氧量的增大而增大, 所以在不影响锅炉效率前提下, 尽量降低氧量。寻求氧量的最佳点。关系曲线见图 3。

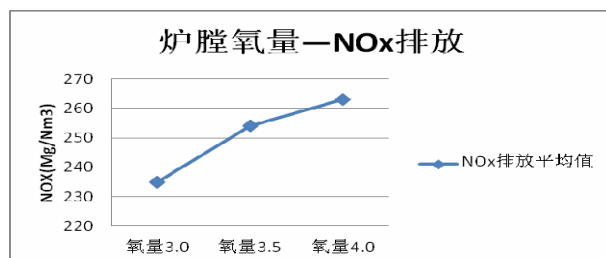


图 3 炉膛氧量与 NO_x 排放关系曲线

氧量大于 3% 时, 氧量的增加导致排烟损失增大幅度与其导致机械热损失减小的幅度相差不大, 而 NO_x 含量 250 mg/m^3 左右, 因此在此区间锅炉效率变化不明显; 氧量 3.5% 时, 由于飞灰及炉渣含碳量变化剧烈机械热损失减小幅度较大因此锅炉效率较

大。氧量 4% 时, 锅炉机械热损失变化减小幅度较小而排烟热损失幅度较大, 因此氧量在负荷高于 290MW 时控制在 3.5 ± 0.2 为最佳运行状态。

5 运行中需注意的问题及对策

5.1 锅炉燃烧扰动问题

不同的煤质在燃烧过程中需消耗的 O_2 不同, 则对应风机的风量也不同。遇低热值、高水份的煤掺烧时, 受风机的限制, 高负荷时给粉机转速升高, 燃烧区域过剩空气系数下降较多, 燃料在燃烧区域得不到完全燃烧, 导致部份未燃烬燃料在还原区继续燃烧的现象, 简称燃烧扰动。产生燃烧扰动时 O_2 大幅下跌, 一、二级减温调门在自动时开足, 汽包水位、主汽压波动较大。严重时所有自动均跳闸。防范对策:

1) 增加负荷时, 先进行加风操作, 保持炉口 O_2 在一定范围内, 密切监视 O_2 变化趋势, 任何情况下保持炉口 $\text{O}_2 > 3\%$ 。

2) 掺烧低值煤较多时, 加负荷过程中严控加负荷的速率, 特别是大幅度增负荷时可在某一负荷区域适当停留, 待锅炉蓄热结束后再进行加负荷操作。

3) 二次风挡板调节较为重要, 直接关系燃烧的稳定性。针对不同煤质, 及时调节。在燃用高热值、低水份煤时, 因耗风量小, 可按正常方式调节; 在燃用低热值、高水份煤时, 因耗风量大, 尤其在夏季高温季节, 空气密度下降, 比容增大, 送风量无法增加时, 要及时将 SOFA 关小至 40~60%, 增大燃烧器侧二次风的含量, 燃烧方可稳定。

5.2 保持仪表准确可靠

定期进行仪表标定, 保持仪表准确、可靠, 每周对脱硝入口、出口及烟囱入口 NO_x 进行标定, 防止因仪表失准造成多喷氨, 导致预热器结晶堵塞。

5.3 防止氨气泄漏

5.3.1 氨气的特性

1) 氨气是无色、有强烈刺激性气味的气体, 对皮肤和呼吸器官具有强烈的刺激性和腐蚀性。2) 属于有毒类化合物: 当人吸入含氨气浓度 0.5% (5000ppm) 以上的空气时, 数分钟内会引起肺水肿, 甚至呼吸停止窒息死亡。人体忍受的极限是 50ppm。3) 属于易燃易爆物品: 当与空气混合物的溶度在 15~28% 时, 遇明火会发生燃烧或爆炸。

5.3.2 防止氨气泄漏的对策

SCR 系统在正常运行时,运行人员加强对氨的逃逸率表计的监视,发现变化,运行人员立即配带正压式呼吸器,携带便携式泄漏检测仪检测。

(1) 发现氨气泄漏后,立即撤离至上风安全区域,并及时汇报;

(2) 发现泄漏后,必须采取相关安全措施后,才能进行隔离:

a) 如就地泄漏严重,已经威胁人身安全;或无法进行隔离时;或已经确认在机组喷氨隔离门前泄漏,则立即停脱硝系统,隔离喷氨母管;

b) 如就地有明显异味,氨气泄漏检测仪(DCS 画面)中氨气泄漏浓度有明显变化,则申请该机组脱硝系统停役,远程关闭相关电磁阀后,确认氨气泄漏浓度下降至正常值后,进行彻底隔离检查;

c) 如就地有轻微异味,未发现明显泄漏点,氨气泄漏检测仪(DCS 画面)检测的氨气泄漏浓度无明显变化时,须两人同行,在确保安全的前提下,携带便携式氨气泄漏检测仪检查,确认泄漏点后,申请隔离检修;

(3) 就地有明显异味时,必须佩戴正压式呼吸器才能进入氨气泄漏区域。以防人员中毒。

5.4 防止预热器堵塞

氨逃逸率是脱硝系统性能的重要指标之一。残余的氨会与生成 NH_4HSO_4 ,附着在空预器表面,影响空预器的效率。当烟气中剩余的 NH_3 与烟气中的 SO_3 、 H_2O 进行反应,生成 NH_4HSO_4 (硫酸氢铵)。该物质为粘性物质,会堵塞催化剂孔隙,降低其活性,同时还会对预热器等设备造成危害,造成空预器受热面堵塞。

防范对策:

(1) 加强对喷氨量的检查与分析,对比。特别是对液氨逃逸率的监视:

a) 选择合适的脱硝效率,不依靠提高 NH_3/NOX 摩尔比来提高脱硝效率。针对 9 炉运行情况,建议脱硝效率控制在 65%~75%即可。即控制烟囷入口 NOX 约在 $80\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

b) 做好催化剂的吹灰工作,吸风机启动后必须投入 SCR 声波吹灰,选用热控气源吹灰。防止催化剂孔隙被灰粒子覆盖。

c) 加强 NH_3 逃逸率表计维护,准确显示 SCR 出口烟气 NH_3 逃逸率状况,定期进行标定,确保 NH_3 逃逸率准确,以便运行人员及时调整。

d) 做好燃煤的掺配,减少导致催化剂中毒的成分,避免催化剂快速中毒。

e) 在催化剂活性下降时,及时对脱硝效率进行调整,防止出现 NH_3 逃逸率显著升高的状况。

f) 做好催化剂活性监测,及时进行增添和更换工作,保障催化剂活性。

(2) 控制预热器冷段温度:

a) 控制预热器进口风温,在冬季温度较低时及时投用热风再循环,提高进风温度,提高换热元件壁温;

b) 检修方面,在预热器改造时适当增加换热元件低温段的比例,降低 NH_4HSO_4 (硫酸氢铵)越界沉积的可能性。

(3) 对沉积的 NH_4HSO_4 (硫酸氢铵)及时进行清理:

a) 提高预热器低温段吹灰次数,保障蒸汽吹灰效果;

b) 提高预热器吹灰蒸汽参数:采用炉本体吹灰,疏尽存水,尽可能提高蒸汽参数;

c) 不允许预热器冷、热段同时吹灰。

参考文献:

- [1] 肖杰.脱硝系统运行及防止锅炉空预器堵塞[A].2013 年江苏省并网电厂锅炉暨节能技术监督专题研讨会会议论文集[C].2013.
- [2] 烟台龙源技术有限公司.谏壁电厂 9 号炉低 NOX 技术改造说明书[Z].
- [3] 国电龙源环保工程有限公司.国电谏壁电厂 3×330MW 机组脱硝改造工程设计说明书[Z].

作者简介:

周文奎(1964-),男,江苏射阳人,高级技师,国电谏壁发电厂发电部锅炉专工, E-mail :
Zhouwk@mail.jb.cgdc.com.cn。