

# 1000MW 超超临界机组 SCR 脱硝系统的运行现状与问题处理

李 明

(徐州华润电力有限公司, 江苏省徐州市华润路 1 号 210000)

**摘 要:** 选择性催化还原法(SCR)是目前国际上处理火电厂锅炉烟气氮氧化物的最主要工艺。该文重点讲述 SCR 技术, 结徐州铜山华润(2×1000MW)运行中的成熟机组对 SCR 工艺原理、影响因素, 生产中出现的问题以及对策进行分析总结, 希望对以后运行工作的安全开展和设备健康运行起到一定帮助。

**关键词:** 超超临界; 选择性催化还原法; 脱硝催化剂

## 1 徐州华润脱硝系统简介

在众多的脱硝技术中, 选择性催化还原法(SCR)是目前脱硝效率最高, 最为成熟的脱硝技术。所谓 SCR 脱硝工艺, 是指常压下, 向含有氮氧化物和具有适宜温度的烟气中喷入约 5% 的气氨, 并使其混合均匀、流经装有催化剂的反应器, 进行  $\text{NO}_x$  与  $\text{NH}_3$  的选择性还原反应而生成无害的  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。SCR 系统包括反应器系统、氨存储及供给系统、氨喷射系统及相关的调节控制系统。SCR 工艺脱硝反应在反应器内进行, 反应器一般有垂直和水平气流两种布置方式, 在燃煤锅炉中, 烟气含尘量很高, 一般采用垂直气流方式。

在 SCR 系统设计中, 最重要的运行参数是烟气温度、烟气流速、氧气浓度、 $\text{NO}_x$  浓度、 $\text{SO}_3$  浓度、催化剂劣化速度和氨逃逸率等, 是直接影响脱硝效率的主要因素。烟气温度是选择催化剂的重要运行参数, 催化反应只能在一定的温度范围内进行, 而每种催化剂又具有最佳反应温度, 因此烟气温度直接影响反应的进程。如本工程选择的催化剂, 在烟温  $320\sim 400^\circ\text{C}$  之间时活性最好, 低于低限温度或高于高限温度运行, 催化剂就会因铵盐生成或高温烧结造成活性降低。烟气流速直接影响  $\text{NH}_3$  与  $\text{NO}_x$  的混合程度, 合理的流速可以保证  $\text{NH}_3$  与  $\text{NO}_x$  充分混合使反应尽可能完全, 并可减轻粉尘在催化剂上的积累导致的堵塞、含尘烟气对催化剂的冲刷磨损。其中氨逃逸是影响 SCR 系统运行成功与否的一个重要参数。实际生产中通常将多于理论量的氨喷入烟道, 反应器后未参与反应或过量的氨称为氨逃逸。脱硝效率随着喷氨量的增加而增加, 过量的氨将会

导致氨逃逸量增加。电厂脱硝项目一般要求氨逃逸不大于 3ppm (百万分之三)。

徐州华润脱硝系统主要是由两个系统组成, 一个是 SCR 系统, 另一个是氨站系统。SCR 系统包括: 烟气系统、触媒吹扫系统。SCR 系统反应器本体是实现还原反应场所, 在 SCR 区将氨气与空气混合后注入 SCR 反应器进口烟道, 与烟气充分混合后, 氨作为还原剂在催化剂的作用下与氧化氮反应生成水和氮气, 使得 SCR 出口氧化氮浓度降到规定值。脱硝反应器布置在锅炉省煤器和空气预热器之间, 且不设置烟气旁路系统, 不考虑省煤器高温旁路系统, 采用单反应器, 蒸汽吹灰。烟气脱硝系统采用日本 IHI 公司的选择性催化还原法(SCR)脱硝工艺对 2 台机组 100% 烟气量进行脱硝处理。吸收剂采用纯氨。当烟气温度在  $320\sim 420^\circ\text{C}$  范围内时, 烟气脱硝系统应能安全、可靠和连续运行。

本脱硝系统采用单元制机组的 DCS (爱默生 OVATION 系统) 控制和数据采集工作, 运行人员直接通过控制室中的 DCS 操作员站完成对脱硝系统参数和设备的监控。

## 2 运行中存在的问题及处理措施

徐州铜山华润两台百万机组脱硫装置投入运行以来, 设备整体运行比较稳定, 但由于时间的推移, 运行工况的改变, 也曾出现了一些每个发电厂都会出现的问题, 如: 低负荷时烟气温度低于  $320^\circ\text{C}$  引起脱硝装置自动退出, 同机组负荷在 500MW 以上必须投入脱硝运行的环保硬性指标冲突; 氧量测点的偏差影响  $\text{NO}_x$  折算值以及两台空预器均出现因脱硝产生的硫酸氢氨堵塞而造成烟侧阻力增加, 影

响空预器换热效率;喷氨阻火器堵塞造成供氨流量的下降等问题。这里讨论一下如何尽量满足环保要求的同时节约运营成本,延长设备使用寿命等系列产品。

## 2.1 冬季低温、机组启动初期对催化剂反应性能的影响

SCR 工艺系统大多采用  $V_2O_5-MoO_3(WO_3)/TiO_2$  高温催化剂(本公司既是),且尽可能寻优控制反应温度在  $350^{\circ}C \sim 380^{\circ}C$ 。如果反应温度太低,催化剂的活性降低,脱硝效率下降,不仅达不到脱硝的效果,而且,将伴随形成铵盐的副反应发生,导致催化剂的失效和后续设备的黏堵、腐蚀;如果反应温度太高,  $NH_3$  容易被直接分解和氧化,在增加氨耗的同时还使生成  $NO_x$  的量增加,甚至引起催化剂材料的相变,导致催化剂的活性微晶烧结、损毁。

冬天以及机组启动初期,SCR 烟气入口温度低于  $320^{\circ}C$ ,影响正常的 SCR 运行,如果适当提高排烟温度,虽会增大锅炉的排烟热损失,但脱硝若退出运行就没有脱硝电价加成以及环保不达标。综合考虑本人觉得冬季还是有必要适当提高排烟温度是的。因冬季气温低,为减少外界环境温度的影响,必须保证整个炉膛的漏风小,其次努力提高保温,对散热较快的地方对保温进行加固,如人孔门、膨胀节悬吊管支撑连接处等。提高热一、二次风温度,开大暖风器既能保证锅炉安全稳定燃烧,又能适当提高排烟温度,有利于脱硝稳定运行。对于制粉系统调整:加强煤仓入煤管理,底层主力磨应加挥发分热值较高的煤种稳定燃烧,上层磨可以加热值较低灰分较高的煤种,增大锅炉烟气量,保证锅炉有良好的卷吸热提高锅炉排烟温度,同时保证制粉系统调节裕度大,不引起因煤量低磨组振动。上层磨出口温度适当降低,推后着火延长燃尽区域,提高排烟温度,在运行中,发现改变磨出口温度,对排烟温度影响较大,可以重点调整。尽量保证 BC 磨稳定运行,劲量避免 A 磨运行,使火焰中心上移。

辅助风挡板及风量控制:因为负荷低,使的总风量不能过高,控制合适的氧量。燃烧器摆角在平时运行中上摆的角度大,只要保证燃烧器摆角位置合适,SOFA 摆角可以上摆,增大还原气氛生成降低  $NO_x$  同时提高排烟温度。SOFA、CCOFA 辅助风适当关小,开大上层磨的周界风增强烟气扰动提高排烟温度的同时提高主再热汽温。在低负荷辅助风

调整时应关注炉膛/二次风差压,特别是下层磨组的二次风差压过低对炉膛负压扰动大,辅助风合理布置。

低负荷减少吹灰频率,特别是水冷壁,能减少炉膛的辐射热加强对流热,提高主再热汽温和排烟温度,也减少炉膛扰动。如果通过各种办法 SCR 入口温度还是无法满足要求,申请加负荷提高锅炉热负荷。对于启动初期烟气入口温度低无法控制,只能通过合理分工,未雨绸缪,尽快缩短启动时间使烟气达到合适温度。

## 2.2 长期运行SCR系统催化剂效率下降及应对办法

脱硝催化剂在运行中由于发生堵塞、覆盖、烧结、磨损和中毒等原因会造成催化剂活性的逐渐的下降,会导致催化剂的出口  $NO_x$  浓度和氨逃逸上升,当出口值不能满足性能保证值时,就需要添加或更换催化剂。脱硝催化剂耐活性下降能力的强弱对于延长催化剂使用寿命、降低脱硝催化剂的运行成本具有重要意义。锅炉的两台空预器也会因为 SCR 的氨气的逃逸出现因脱硝产生的硫酸氢氨(鼻涕状黏性物的附着受热面)堵塞而造成烟侧阻力增加,由  $1.1kPa$  左右(正常值)上升至  $1.7kPa$  以上,空预器烟侧阻力超过设计值 60%,另空预器受热面换热能力下降,造成换热下降,排烟损失增大。

SCR 系统催化剂结露,一般概念中所谓的“结露”,是指空气中的水汽在其他物体上产生凝结的现象。而把产生结露现象的温度叫做露点温度。在锅炉排放的烟气中,含有一定的水分是不可避免的。因此会存在结露现象但烟气中水汽本身的结露温度(水露点)是很低的,一般约在  $30^{\circ}C \sim 60^{\circ}C$  左右,一般工业中所谓的结露是指由于烟气中含有酸性气体而引起的酸结露。烟气中只要有 0.005% 的三氧化硫,烟气结露温度(酸露点)即可高达  $150^{\circ}C$  以上。由酸结露一般发生于设备表面,并在其表面形成浓度较高的硫酸溶液,从而会黏结在设备等表面对其造成严重的腐蚀。火电厂 SCR 烟气脱硝工艺中,由于催化剂的作用,使得副反应  $SO_2/SO_3$  转化率较高,烟气中较高浓度的  $SO_3$  使得烟气露点温度大大提高,另外由于多孔隙的特性催化剂具有毛细管作用下的冷凝较为强烈,更易在催化剂空隙表面产生酸结露(SCR 工艺中,  $SO_2/SO_3$  的转化一般发生在催化剂孔状结构内),从而造成对催化剂的腐蚀和毒害。另外 SCR 工艺中采用氨作为脱硝还原剂,

较高的 $\text{SO}_2/\text{SO}_3$ 转化所形成的 $\text{SO}_3$ 与 $\text{NH}_3$ 与反应生成 $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ，这种物质在  $180\sim 240^\circ\text{C}$  之间呈液态，极具腐蚀性和黏结性，可导致催化剂黏结腐蚀以及下游设备的损坏。因此SCR系统中，催化剂的结露主要是由于较高的 $\text{SO}_2/\text{SO}_3$ 造成的。在燃煤锅炉的SCR脱硝系统，在给定的设计参数和烟气条件下，为了防止由于 $\text{SO}_2/\text{SO}_3$ 转化而引起的酸结露，可从露点温度曲线得到临界运行温度，为了避免毛细管作用下的冷凝，实际运行温度至少应该比露点曲线得到的临界运行温度高  $50^\circ\text{C}$ 。对烟气中 $\text{SO}_2$ 和 $\text{SO}_3$ 浓度较低的情况下，即催化剂的运行温度要比直接布置在锅炉后面的情况下的低的多。 $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ 的沉积现象可通过提高温度来消除。为了消除以上由于结露造成对催化剂的影响，在一般的SCR 系统中都设置有SCR 旁路以及省煤器旁路，以保证在烟气温度较低的情况下，烟气不通过装有催化剂的SCR 反应塔或者提高通过反应塔的烟气温度。这使得本身投资较大的SCR系统成本进一步增加，而且还增加了结构以及控制的复杂程度。由于徐州铜山华润两套脱硫装置未设置旁路，在锅炉低负荷阶段和机组启、停过程中不可避免增加空预器的堵塞程度，只有通过预先准备，尽量缩短启动时间解决。

处理采用的方法：

为了延长催化剂的使用寿命，在运行中需要特别注意以下几个方面：

1) 保证脱硝催化剂在规定的温度运行，不要超温，防止催化剂烧结；

2) 启动时对燃烧条件进行监测，防止不完全燃烧时残碳或残油在催化剂上累积引起催化剂着火烧结；

3) 在运行中，在 500MW 及以上负荷段，集控运行调整要以调整燃烧配风为主，机组负荷低时炉膛出口  $\text{NO}_x$  含量易超过设计值，此时要及时调整配风，通过拉长主燃烧区和 SOFA 区间的距离、适当降低炉膛出口氧量达到降低炉膛出口  $\text{NO}_x$  含量的目的。但当温度低于最低喷氨温度时必须停止喷氨。如果硫酸氢铵的沉积在催化剂表面上，需要及时将烟温升至活性温度，以保证硫酸氢铵能够分解，重新恢复催化剂活性；

4) 在运行中，定期进行飞灰的吹扫，防止催化剂堵塞，减少飞灰在催化剂表面的停留时间，防止催化剂活性下降；

5) 对脱硝催化剂进行定期吹扫还可以防止飞灰或  $\text{CaO}$  等在催化剂表面发生水泥性硬化造成催化剂有效活性面积的下降。增加脱硝反应器区域吹灰频率，由由半个月投用一次改为每周一次。利用机组大小修期间对 SCR 区域和空预器进行水冲洗。

6) 在启停时，特别需要防止液体水在催化剂表面的生成，否则飞灰中的 $\text{K}_2\text{O}$ （氧化钾）和 $\text{Na}_2\text{O}$ （氧化钠）等物质快速渗透催化剂内部引起催化剂活性的快速失活；

7) 选用合适的催化剂类型对于延长催化剂使用寿命非常重要。平板式催化剂由于具有不锈钢筛网板作为支撑结构，在防止催化剂堵塞、耐磨损、防止  $\text{CaO}$ （氧化钙）在催化剂表面的沉积覆盖、防止催化剂的碱金属中毒等方面有一定的优势。

8) 喷氨阻火器堵塞造成供氨流量的下降

由于运行以来喷氨阻火器未清理过，喷氨量由最高  $660 \text{ Nm}^3/\text{h}$  下降至  $350 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ，经检查发现喷氨阻火器堵塞，停运SCR运行后，清理阻火器后正常，利用机组停机时机对阻火器进行检查，及时清理，以保证供氨量。

9) 氨稀释风机效率下降影响喷氨效果。应关注氨稀释风机电流以及风量。

## 2.3 烟囱入口的 $\text{NO}$ 浓度和氧量测间的关系与影响

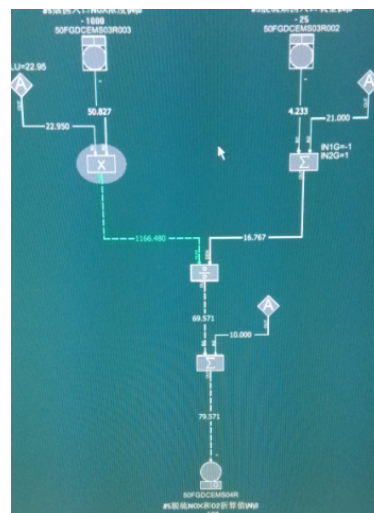


图1 烟囱入口的 $\text{NO}$ 浓度以及氧量测间的关系

由图1可以知，SCR 折算值是由烟囱入口  $\text{NO}_x$  浓度与22.95这一常数的积除以烟囱入口氧量与21.0的差所得的商与上常数10.0的和，即：

$$\frac{22.95 \times \text{NO}_x}{(\text{O}_2 - 21)} + 10$$

测量NO<sub>x</sub>折算值的方式上,一般仪器测量目标为NO的浓度值,上述逻辑(1)中烟囱入口NO<sub>x</sub>浓度即为测得的烟囱入口NO的浓度值,为实际测量值。而国家环保局规定CEMS测量NO<sub>x</sub>是以NO<sub>2</sub>来换算的。所以在获取NO<sub>x</sub>折算值之前需要将测得的NO先转换为NO<sub>2</sub>,再折算NO<sub>x</sub>。按照GB13271《锅炉大气污染物排放标准》的规定,实测的锅炉烟尘、二氧化硫、氮氧化物的排放浓度,必须执行国标GB/T16157规定,NO<sub>x</sub>折算按下述公式计算:

$$\text{NO}_x \text{ 折算} = \text{实测值} \times \text{折算系数} \quad (1)$$

式中: NO<sub>x</sub> 折算—折算成对应当前过量空气系数的排放浓度;

实测值—用实测的NO浓度值来换算为NO<sub>2</sub>, 实测值=NO\*1.53;

折算系数—在测点实测的过剩空气系数/1.4,

$$\text{即 } \frac{21}{21-O_2} \times \frac{1}{1.4}。$$

将数据代入公式(1)可得如下公式:

$$\begin{aligned} \text{NO}_x \text{ 折算} &= \text{NO} \times 1.53 \times \frac{21}{21-O_2} \times \frac{1}{1.4} \\ &= \text{NO} \times \frac{22.95}{21-O_2} \end{aligned} \quad (2)$$

氧量测点的准确性深刻影响 NO<sub>x</sub> 折算值的正确与否,当发现在煤质变化不明显,但氧量测点与其他氧量测点有明显偏差时,有必要联系检修人员对烟囱入口的 NO<sub>x</sub> 浓度以及氧量这两个测点进行校验。

#### 2.4 在满足环保要求同时通过调整降低运行成本

本公司两台锅炉均是塔式型,单台锅炉配备 A、B、C、D、E、F 共 6 台磨,可以通过燃烧配风调整,影响炉膛出口的 NO<sub>x</sub> 生成,从而节省氨气的使用量。一般增加上层 SOFA 风和 COFA 风配比,燃烧采用瘦腰型配风,通过拉长主燃烧区和 SOFA 区间的距离,使燃烧在还原性工况下发生,锅炉采取低氧燃烧,适当减小锅炉送风量,在原风量曲线基础上减小约 100t/h 的配风。

徐州铜山华润脱销系统采取的节能措施以及带来的问题:

介绍两种磨组运行方式:当采用下层磨运行时,即 A/B/C/D/E 磨组,或 A/B/C/D 运行时,通过燃烧调整,炉膛出口 NO<sub>x</sub> 含量可以有效的降低。但是随之而来的隐患是两台锅炉水冷壁区域均出现严重的磨损现象,两台炉均出现不同程度的因磨损而发生泄露,威胁锅炉的安全运行。采取上层磨组 B/C/D/E/F 运行方式,同时增加底层磨组的二次风配比,可以减小炉膛水冷壁底部区域的磨损现象,带来的结果是,炉膛出口 NO<sub>x</sub> 含量的急剧上升,供氨量也大幅升高,此时为保证环保的合格,就可以采取瘦腰型配风,减少中间层磨组(C/D/E 层磨组)配风,增加上层 SOFA 风和 COFA 风配比,维持锅炉低氧燃烧,达到低 NO<sub>x</sub> 的生成的目的,从而节省喷氨量,降低运营成本。

烟气在 SCR 反应器中的空速度是 SCR 的一个关键设计参数,它是折算为标准状态下的湿烟气体积流量与 SCR 反应器中催化剂体积的比值,反映了烟气在 SCR 反应器内的停留时间大小。烟气的空速度越大,其停留时间越短。通常,SCR 的脱硝效率将随烟空气塔速度的增大而降低,保持合理的空速以及燃烧配风能尽可能的节省还原剂,节约运营成本。

#### 参考文献:

- [1] 铜山华润电力有限公司2×1000MW运行规程锅炉部分 [Z].徐州:铜山华润电力公司,2009.
- [2] 蒋文举.烟气脱硫脱硝技术手册(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [3] 汪琦,方云进.烟气脱硝技术研究进展和应用展望[J].化学世界,2012(08).

#### 作者简介:

李明(1987-),男,助理工程师,长期从事发电运行工作,  
E-mail: 59949059@qq.com。