

1 000 MW 机组脱硝系统空预器堵灰防治

李绍刚, 韩丽娜

(中国华电集团山东分公司华电莱州发电有限公司, 山东 莱州 261400)

摘 要:华电莱州发电有限公司一期选择性催化还原法(SCR)脱硝装置投运后空预器堵灰不断加剧,造成风机电耗、空预器烟气侧、一/二次风侧差压等增大,使机组的经济性不断下降,同时降低了机组出力。通过分析空预器堵灰原因,并提出一些预防措施,进而提高机组经济性。

关键词:脱硝;空预器;预防;差压;氨逃逸

中图分类号:X 773 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951(2017)12 - 0056 - 03

0 前言

华电莱州发电有限公司一期 #1, #12 机 1 000 MW 燃煤发电机组为了节能减排、改善当地大气环境质量,已经完成脱硝改造工程。脱硝系统采用选择性催化还原法(SCR)脱硝技术,主要原理为还原剂在催化剂的作用下,将火电厂烟气中产生的氮氧化物还原成无污染的氮气和水,其中烟气中的氮氧化物主要以 NO 和 NO₂ 为主。烟气脱硝装置安装于锅炉省煤器出口至空预器入口之间。在锅炉最大连续出力工况(B - MCR)下,脱硝效率大于 75%,即锅炉出口的 NO_x 排放量小于 75 mg/m³(标态 O₂ = 6%)^[1]。

1 脱硝系统简介

华电莱州发电有限公司 #1, #2 机组脱硝系统是由华电工程设计制造,采取 SCR 来达到去除烟气中 NO_x 的目的。SCR 反应器采用高灰型工艺布置(即反应器布置在锅炉省煤器与空预器之间),催化剂购自重庆远达催化剂股份有限公司。

化学反应式如下:
$$4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O},$$
$$6\text{NO}_2 + 8\text{NH}_3 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O},$$
$$6\text{NO} + 4\text{NH}_3 \rightarrow 6\text{H}_2\text{O} + 5\text{N}_2.$$

脱硝系统主要由两部分组成:氨储存和制备系统(氨站)、还原剂供应系统(SCR 区)。

#1, #2 机组共用 1 套液氨储存与供应系统,外购液氨通过液氨槽车运至液氨储存区,通过往复式卸氨压缩机将液氨储罐(2 个)中的气氨压缩后送入液氨槽车,利用压差将液氨槽车中的液氨输送到液氨储罐中。液氨经蒸发器(3 个)蒸发成气氨后进入

气氨缓冲罐(2 个),气氨通过稀释风机(每台锅炉 2 台)稀释后,分别经过 2 台机组的喷氨格栅送入 SCR 反应器(每台锅炉 2 套)。按(NO_x/NH₃)1: 1 的比例喷入锅炉烟气中的 NH₃ 在 SCR 反应器中催化剂的作用下与烟气中 NO_x 按上述化学反应式进行反应,从而达到降低排烟中 NO_x 含量的目的。

2 空预器堵灰的原因

2.1 加装脱销装置后对空预器的影响

火电机组进行 SCR 脱硝改造后,空预器堵灰的严重程度随时间逐渐加剧,空预器严重堵灰的风险大大增加,同时促使冷端腐蚀情况加剧。空预器堵灰不仅造成空预器烟气侧、一/二次风侧差压增大、排烟温度升高、风机电耗增加,锅炉效率显著下降,堵灰严重时还将造成风量不足、负荷受限、炉膛负压波动大、燃烧不稳、轴流风机失速抢风甚至被迫停运等,直接影响锅炉运行的安全性和经济性。

2.2 空预器堵灰的类型

2015—2016 年 SCR 脱硝系统一直处于投运状态,现举例说明华电莱州发电有限公司 SCR 脱硝系统投运后空预器各运行参数的变化,分析空预器堵灰情况的变化趋势和影响因素,见表 1、表 2。

从表 1 统计数据可以看出,5 月中旬投入高硫煤后,A/B 空预器进出口烟气差压、进出口二次风差压都随之升高,A/B 引风机排烟温度也升高了,主要原因还是燃煤硫分波动大,脱硝运行喷氨流场不均造成氨逃逸偏高,空预器堵灰严重。

从表 2 统计数据可以看出,2015 年 12 月 #1 锅炉空预器进出口烟气差压、进出口二次风差压均比 11 月份上升,此外随着环境温度降低,会加剧空预器堵灰现象, #1 锅炉空预器漏风率高,冷端腐蚀积灰因素影响也会越来越大,需及早投入二次风暖风机运行。

表 1 #1 机组 2016 年 5 月空预器运行参数汇总对比

时间	机组负荷/ MW	总风量/ t·h ⁻¹	A/B 空预器进出口 烟气差压/kPa	A/B 空预器进出口 二次风差压/kPa	A/B 引风机排烟 温度/℃
5.10	980	2788	1.034/1.161	0.824/0.809	117.4/118.2
5.12	978	2887	1.035/1.17	0.850/0.767	106.6/107.8
5.14	980	2799	1.051/1.134	0.855/0.864	112.6/114.0
5.17	980	2836	1.090/1.221	0.846/0.824	115.3/118.3
5.18	980	2825	1.143/1.282	0.818/0.842	118.2/118.9
5.19	981	2899	1.159/1.300	0.819/0.862	119.9/121.3
5.24	980	2772	1.183/1.316	0.98/0.96	119.79/119.80

表 2 #1 机组 2015 年 11 月和 12 月空预器运行参数汇总对比

时间	机组负 荷/MW	总风量/ t·h ⁻¹	A/B 空预器进出口 烟气差压/kPa	A/B 空预器进出口 二次风差压/kPa	A/B 引风机排烟 温度/℃	A/B 空预器进口 二次风温度/℃
11 月	951	2848	0.876/0.931	0.653/0.647	97.7/103.2	12.68/16.94
12 月	952	2800	0.922/1.000	0.683/0.671	106.9/109.6	31.4/34.2

空预器堵灰的类型主要有 3 类:硫酸氢胺型、结露型、积灰未能有效清除。在 SCR 脱硝改造后,硫酸氢胺型堵灰已成为主要类型。硫酸氢胺型堵灰的直接原因是黏性的液态硫酸氢铵黏附在空预器换热元件上并黏附飞灰。硫酸氢胺型堵灰的发生有 3 个必要条件即氨逃逸、SO₃ 浓度、烟气温度,且低温对硫酸氢铵生成影响较大。

(1)安装 SCR 脱硝装置后,逃逸氨与硫酸反应生成硫酸氢铵和硫酸铵,硫酸氢铵在高温时处于气态,在低温时变为固态,但在中间温度时(150~220℃)处于液态。液态的硫酸氢铵有黏性,很容易黏附在空预器的换热元件上,造成空预器换热元件堵塞。氨逃逸指标偏高会使空预器堵灰速度明显加快。

(2)在脱硝催化剂的作用下,烟气中 SO₂ 向 SO₃ 的转化率增加,即烟气中 SO₃ 含量增加,烟气酸露点温度随之升高,空预器的酸腐蚀和堵灰状况因此加剧。以下情况尤其要注意 SO₃ 浓度对堵灰的影响:燃用贫煤或无烟煤,燃煤硫分波动大,催化剂 SO₃ 转化率化验值偏高^[2]。

(3)加装 SCR 装置后,烟气通过该装置阻力增加,造成空预器热端压差增加约 25%,空预器漏风率随之增加,漏风增加降低了空预器排烟温度,加剧了低温腐蚀。

3 预防空预器堵灰措施

3.1 控制氨逃逸方面^[3]

氨逃逸的大小对空预器阻力变化的影响:在逃逸率为 0.91 mg/m³ 时,堵塞程度较轻,空预器阻力增加速度比较平缓;在逃逸率为 2.28 mg/m³ 时,堵塞发展速度较快;当逃逸率为 1.52~3.04 mg/m³

时,11 个月后可达到设计压损的 1.5 倍。当逃逸率为 3.04~6.07 mg/m³ 时,3 个月后即可达到设计压损的 1.5 倍。根据国内外 SCR 脱硝运行经验,飞灰中氨含量控制在 50 mg/kg 以下时,说明氨逃逸率控制在安全运行范围内。空预器飞灰氨含量超过 50 mg/kg,特别是空预器垢样检测结果的氨含量相当高,可以判断机组 SCR 脱硝运行中喷氨量过大,导致空预器冷端硫酸氢铵沉积。控制氨逃逸可以从以下几点着手。

(1)尽量控制氨逃逸在较低值运行,严格避免大于 2.28 mg/m³ 的情况。在保证脱硫系统出口 NO_x 排放浓度满足环保要求的前提下,尽量降低喷氨浓度。

(2)通过燃烧调整,严格控制 SCR 进口 NO_x,以降低喷氨量。

(3)在低负荷、负荷变动大、磨煤机启停和倒磨等异常工况时,加强运行调整,控制炉膛出口 NO_x 和脱硝喷氨量不超上限值。改善低负荷时低氮燃烧的二次配风方式,加强对 SCR 进口 NO_x 指标的监督和控制,避免在低负荷时喷氨过量。

(4)避免 SCR 入口烟温过低。低负荷及时做好烟气挡板调整、省煤器烟气旁路调整等,提高 SCR 入口烟气温度和脱硝效率,减轻空预器堵灰。根据试验曲线,烟气温度在 370~400℃时喷氨量比 300℃时降低约 40%,脱硝效率提高约 10%。

(5)加强入炉煤混配掺烧管理。尽量控制入炉煤硫分在设计值范围内,燃煤硫分较高时,应严格控制氨逃逸量,适当提高排烟温度,同时保持硫分和煤质相对稳定、避免大幅波动。

3.2 空预器运行参数监视和调整

运行中应重点监视空预器差压、空预器冷端综

合排烟温度、风机振动等,及时分析并进行调整。空预器压差大于设计值上限(一般为 1.1 ~ 1.2 kPa)时,适当加强空预器吹灰次数,分析堵灰的原因并采取相应措施;空预器压差超过设计值上限的 1.5 倍以后,堵灰速度明显增快,压差太高会造成风机喘振,超过 1.7 kPa 以上就很难冲洗,应及早采取控制措施;机组检修开机后,空预器压差超设计值 0.2 kPa 以上,一般为停机清理不彻底造成,在运行中更需重视空预器压差的监督和控制,有停机机会时彻底检查,并彻底清理换热元件内部积灰。

保证空预器冷端综合温度。严格执行暖风器投运管理规定,一般空气预热器综合冷端温度(排烟温度与空预器入口风温之和)低于 136℃(具体数值按入炉煤硫分计算为准),应及时投入暖风器运行。冬季环境温度低,空预器冷端腐蚀和堵灰现象发展迅速,合理控制空预器冷段温度可以缓解低温腐蚀的发生。通过运行调整适当提高排烟温度,对控制空预器堵灰有一定效果。

表 3 #1 机组 2016 年 5 月 25 日和 5 月 26 日空预器运行参数

时间	机组负荷/ MW	总风量/ t · h ⁻¹	A/B 空预器进出口 烟气差压/kPa	A/B 空预器进出口 二次风差压/kPa	A/B 引风机排 烟温度/℃
5.25	980	2815	1.220/1.356	0.987/0.936	116.7/117.7
5.26	980	2754	1.070/1.225	0.836/0.867	117.8/118.0

3.3 投用高压水冲洗清理堵灰^[4]

对燃煤硫分高,喷氨量大,空预器易堵塞的机组,根据原有吹灰器配备情况,加装双介质吹灰器及有成熟业绩的在线高压水冲洗装置,必要时投入在线冲洗,避免严重堵灰造成降负荷、停炉消缺等,避免高频次吹灰造成换热元件吹损。

在线高压水冲洗装置一般控制冲洗水压力 2832 MPa、水流量 145 210 kg/min,水源应满足水量和水质要求,可选用连排水、定排水、工业水、生活水等,不能用循环水,保证冲洗水泵入口压力不低于设计值。在线高压水冲洗应选择在 75% ~ 90% 负荷段之间进行。应提高排烟温度,减少喷氨量、氨逃逸率,以提高冲洗效果。冲洗过程中,通过观察冲洗水泵的回水量判断喷嘴工作情况,注意防止喷嘴堵塞、脱落及枪管泄漏等情况。

空预器堵塞严重且在线冲洗效果不明显时,可半边隔离后进行高压水连续冲洗,防止新增积灰,提高清灰效果。堵塞严重的空预器,如果连续几天高压在线冲洗后没有明显效果,应停机检修时进行高压离线水冲洗或实施化学清洗。水冲洗后,空气预热器应彻底干燥,以防空气预热器再次投运后发生腐蚀堵灰。

机组停机时,也可利用高压水冲洗装置清洗空

加强特殊工况的监督和管理。机组启停期间、喷氨量或氨逃逸指标异常、冬季低温(以及换季时空气湿度大且环境温度低)、低负荷运行、燃煤硫份异常波动、吹灰装置故障,是导致空预器堵灰的高发期,应加强运行管理,及时采取措施。

空预器压差大或持续升高时,应适当增加冷端蒸汽吹灰频次,但应注意防止换热元件吹损。此外,应重视空预器蒸汽吹灰的现场检查。蒸汽吹灰设备异常在远程操作中不易发现,在堵灰原因分析时,往往被其他原因掩盖。应定期现场检查蒸汽吹灰器工作情况,重点检查提升阀故障、行程不到位、蒸汽泄漏、蒸汽带水、蒸汽温度不足等问题。如存在吹灰器行程不到位、近端疏水管结构导致疏水不畅等,应进行治理改造。

通过加强入炉煤混配掺烧管理和增加空预器吹灰频次等方法,对比表 3 和表 1 中 5 月中旬空预器运行参数,A/B 空预器进出口烟气差压、进出口二次风差压比表 1 有明显下降趋势。

预器,节约费用,提高效率。

3.4 脱硝系统喷氨优化和改造

3.4.1 脱硝喷氨格栅的优化改造

根据 SCR 反应器内氨氮摩尔比分布测试情况,对喷氨格栅进行必要的改进,在各负荷段更好的保持氨氮摩尔比的均匀性。喷氨格栅喷嘴易发生部分堵塞的情况,应分析堵塞原因采取改进措施,必要时加装吹扫装置。

3.4.2 脱硝吹灰装置优化

脱硝催化剂频繁发生积灰、堵灰的情况,需加强对 SCR 吹灰器的检查维护,保证吹灰效果。在声波吹灰不能有效覆盖催化剂通道时,在相应位置安装声波吹灰器,或调试投用脱硝蒸汽吹灰,并注意杜绝蒸汽带水的发生。

分别对 2 台机组进行烟气超低排放改造,脱硝改造增加原备用层催化剂,催化剂形式仍采用蜂窝式催化剂,增加量为 460 m³,对相关热控和电气设备进行改造,对原有设备进行恢复性检修,改造后烟囱入口 NO_x 排放浓度由小于 75 mg/m³(标态, O₂ = 6%)降低为小于 50 mg/m³(标态, O₂ = 6%)。

4 结束语

空预器堵灰严重影响锅炉运行(下转第 61 页)

添加,虚拟物质 X 的添加对着火延迟时间的影响相对较小。这是由于此处的变化仅仅来自于 H_2O 的物理性质的影响,这也说明 H_2O 的化学性质对着火延迟时间的影响更大。在 H_2 含量为 50% 条件下的预混火焰中添加不同比例 H_2O 的着火延迟时间如图 4 所示。对比图 3,50% H_2 时的着火延迟时间缩短, H_2 的添加有利于燃料的着火。而且图 4 中化学性质的影响相比于图 3 也更大,这表明 H_2O 的化学性质对着火延迟时间的影响在高 H_2 含量合成气中更加明显。

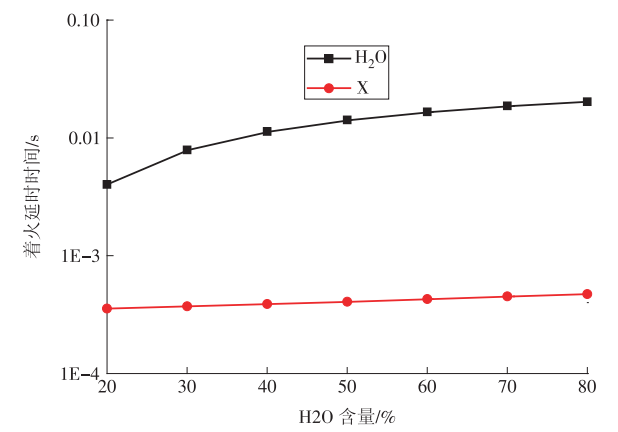


图 4 $\text{H}_2/\text{CO}(50:50)$ 燃料在不同 $\text{H}_2\text{O}/\text{X}$ 比例下的着火延迟时间

4 结束语

本文通过使用水蒸气替代空气中 N_2 的方法,研究了 H_2O 的化学性质对两种不同 H_2 含量的合成气预混火焰的火焰传播速度和着火延迟时间的影响,可以得出以下结论。

(1)在低 H_2 含量时, H_2O 的化学性质促进火焰的传播。在高 H_2 含量时, H_2O 的化学性质抑制火焰的传播。并且随着 H_2O 的添加,高 H_2 含量合成气火焰的传播速度下降速率更快。

(2)在两种燃烧过程中, H_2O 的化学性质都会

(上接第 58 页)的安全性和经济性,本文通过分析 SCR 脱硝装置投运后对空预器造成腐蚀和堵灰的原因,并提出一些预防措施,通过数据对比,效果显著,保证了机组安全经济稳定运行。

参考文献:

[1] 华电莱州发电有限公司. 1 000 MW 机组集控运行规程 [Z]. 莱州:华电莱州发电有限公司,2015.

[2] 冯志华,常丽萍,任军,等. 煤热解过程中氮的分配及存在形态的研究进展[J]. 煤炭转化,2000,23(3):6-12.

[3] 赵惠富. 污染气体 NO_x 的形成和控制[M]. 科学出版社,

导致燃烧的着火延迟时间变长。 H_2O 的化学性质对着火延迟时间的影响在高 H_2 含量合成气中更加明显。

参考文献:

[1] LAI X, Ye Z, XU Z, et al. Carbon capture and sequestration (CCS) technological innovation system in China: Structure, function evaluation and policy implication[J]. Energy Policy, 2012, 50(11):635-646.

[2] ANDERSON R, HUSTAD C, SKUTIEY P, et al. Oxy-fuel Turbo Machinery Development for Energy Intensive Industrial Applications[J]. Energy Procedia, 2014(63):511-523.

[3] TU Y, LIU H, SU K, et al. Numerical study of H_2O addition effects on pulverized coal oxy-MILD combustion[J]. Fuel Processing Technology, 2015(138):252-262.

[4] PARK J, SANG I K, JJU H Y. Addition Effects of H_2 and H_2O on Flame Structure and Pollutant Emissions in Methane-Air Diffusion Flame[J]. Energy & Fuels, 2007, 21(6):3216-3224.

[5] RICHARDS G A, CASLETON K H, ChORPENING B T. CO_2 and H_2O diluted Oxy-fuel combustion for zero-emission power[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2005, 219(2):121-126.

[6] TU Y, LIU H, SU K, et al. Numerical study of H_2O addition effects on pulverized coal oxy-MILD combustion[J]. Fuel Processing Technology, 2015(138):252-262.

[7] SMITH B G P, GOLDEN D M, FRENKLACH M, et al. Gri-Mech 3.0[Z], http://www.me.berkeley.edu/gri_mech, 2015.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

厉剑梁(1981—),男,浙江东阳人,高级工程师,从事大型火力发电厂电厂节能技术,节能项目管理等方面工作(E-mail: jianliang-li@chd.com.cn)。

1993.

[4] 郑博文. 脱硝系统运行与防止空预器堵塞[J]. 科技与创新, 2014(14):22-23.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

李绍刚(1982—),男,山东曲阜人,工程师,工学硕士,从事电厂运行方面的工作(E-mail: 15153577692@139.com)。

韩丽娜(1985—),女,山东济南人,工程师,工学硕士,从事电厂运行方面的工作(E-mail: lina0904@163.com)。