

600 MW 燃煤机组 SCR 装置喷氨优化调整试验研究

郝功涛, 廉珂, 姜佳旭, 朱跃
(华电电力科学研究院, 杭州 310030)

摘要:以某电厂 600 MW 燃煤机组脱硝工程为例,介绍了氨逃逸的危害、选择性催化还原技术(SCR)装置喷氨优化试验的判断依据以及喷氨优化调整试验的思路、流程及方法。通过喷氨优化调整试验,SCR 装置 A 侧和 B 侧出口 NO_x 质量浓度分布相对标准偏差由 60.8% 和 28.9% 分别降至 13.5% 和 8.8%,氨逃逸质量浓度分别降低了 63.4% 和 53.8%。反应器出口 NO_x 质量浓度分布均匀性得到明显改善,同时氨逃逸质量浓度也得到了控制,提高了机组运行的安全经济性。

关键词:烟气脱硝;SCR;氨逃逸;喷氨优化调整

中图分类号:X 701.7

文献标志码:B

文章编号:1674-1951(2017)07-0073-04

0 引言

2014 年 9 月,国家发改委、环保部及能源局联合印发了关于《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020 年)》的通知, NO_x 质量浓度排放限值由原先的 100.00 mg/m^3 (标态、干基、6% O_2 ,下同)降为 50.00 mg/m^3 。由于选择性催化还原技术(SCR)装置具有较高的脱硝效率,目前国内装备 SCR 装置的电厂约占火电总装机容量的 95%^[1]。在实际运行过程中受锅炉燃烧工况、喷氨格栅和氨/空气混合系统结构设计、烟道流场均匀性、催化剂种类和性能等因素影响,普遍存在 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度分布均匀性较差、局部氨逃逸过高和空气预热器(以下简称空预器)堵塞等严重问题。运行人员一般根据在线氮氧化物监测值调节喷氨量,来满足达标排放要求。因此,定期开展喷氨优化调整试验,寻找 SCR 装置喷氨量、 NO_x 和氨逃逸质量浓度之间的最佳对应关系,对提高机组运行可靠性和经济性具有重要意义。

1 氨逃逸的危害及其应对措施

SCR 装置实际运行过程中受烟道流场不均匀、催化剤性能减退、吹灰不及时、喷嘴堵塞、氨/空气混合不均匀、 NH_3/NO_x 摩尔比不均匀等因素影响,在保证脱硝效率的前提下会造成氨逃逸超标现象。对于大型燃煤发电机组,当 SCR 装置氨逃逸质量浓度大于 3.79 mg/m^3 时,能感觉明显异味,特别是北方寒冷地区全封闭式 SCR 装置,当氨逃逸质量浓度大

于 18.97 mg/m^3 时,会造成严重人身伤害^[2]。根据国外电厂运行经验,约 20% 的氨逃逸会与烟气中的 SO_3 作用产生 NH_4HSO_4 (ABS),且 ABS 的熔点为 147°C ,在低温下以液滴形式分散于烟气中,容易造成下游空预器冷端设备腐蚀和堵塞,影响锅炉的安全、经济运行^[3]。此外, NH_3 还可能与烟气中的含氯物质反应生成氯化铵,产生烟羽现象。

常见的氨逃逸控制手段主要有:更换失活催化剂、优化反应器入口烟气流场、喷氨格栅(AIG)优化调整和反应器内部清灰等。对于现役的 SCR 烟气脱硝系统,在系统设备和系统布置无法改变时,通过 AIG 优化调整,能够改善 NH_3/NO_x 摩尔比分布均匀性,降低氨逃逸质量浓度,提高脱硝效率。

2 SCR 装置喷氨优化调整试验

当实际运行过程中,出现 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度分布偏差较大、与烟囱入口 NO_x 质量浓度偏差大于 $15.00 \sim 20.00 \text{ mg/m}^3$ 、空预器的阻力明显高于正常值、飞灰及脱硫浆液中氨含量较高等情况时,需考虑进行喷氨优化调整试验。使 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度偏差系数(C_V)控制在 20% 以内^[4-6]。

2.1 设备概况

某电厂 $2 \times 600 \text{ MW}$ 超临界凝汽机组,SCR 装置采用高温高尘布置方式,每台锅炉配备 2 个 SCR 反应器,催化剂采用“2+1”模式布置。设计条件下 SCR 反应器入口 NO_x 质量浓度为 500.00 mg/m^3 ,加装第三层预留层催化剂后,脱硝效率不低于 90%,氨逃逸不大于 2.28 mg/m^3 ,SCR 反应器装置入口设计参数详见表 1。

表 1 SCR 反应器入口设计参数

项目	说明
催化剂类型	蜂窝式
烟气流/(m ³ ·h ⁻¹)	1 929 913
省煤器出口烟气温度/℃	357
入口 O ₂ 体积分数/%	3.54
入口 NO _x 质量浓度/(mg·m ⁻³)	500.00
入口 SO ₂ 质量浓度/(mg·m ⁻³)	5 685.00
入口 SO ₃ 质量浓度/(mg·m ⁻³)	56.00
入口烟尘质量浓度/(g·m ⁻³)	50.00
脱硝效率	不小于 90%
氨逃逸质量浓度/(mg·m ⁻³)	≤2.28

SCR 反应器出口采用单点抽样监测方式,且使用抽取法测量 NO_x 质量浓度时,普遍存在信号传输滞后现象。烟气排放连续监测系统表盘数据不能完全反映整个烟道的截面处 NO_x 和氨逃逸质量浓度,SCR 装置在运行过程中根据单点监测结果进行自动调节。

2.2 喷氨格栅简介

该 SCR 装置采用分区控制式喷射格栅喷氨技术,将烟道截面沿宽度方向划分成 7 个大控制区域,如图 1 所示。每个大控制区域沿烟道深度方向分成 3 个子控制区域,一个反应器共 21 个子控制区域,每个子控制区域有 4 个喷嘴。每个子控制区域中对应一根喷氨支管。单个反应器共 21 根喷氨支管,每根支管上配置 1 个节流阀,通过调整 21 个节流阀的开度来调节每根支管的喷氨量。

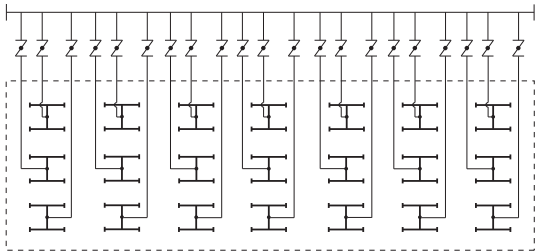


图 1 喷氨格栅喷嘴和喷氨节流阀布置

2.3 调整方法

喷氨格栅的优化调整试验选择在锅炉常规负荷(480 MW),NH₃/NO_x 摩尔比在设计值的运行条件下进行。试验期间要求煤质稳定,负荷及配风方式保持稳定,SCR 反应器入口 NO_x 质量浓度稳定;尽量避免蒸汽吹灰。喷氨优化调整具体试验方法如图 2 所示。

首先对 SCR 反应器入口 NO_x 质量浓度、烟气流速及温度分布进行摸底试验,查清喷氨格栅各阀门初始开度及其调节特性。然后测量 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度及氨逃逸质量浓度分布。根据常

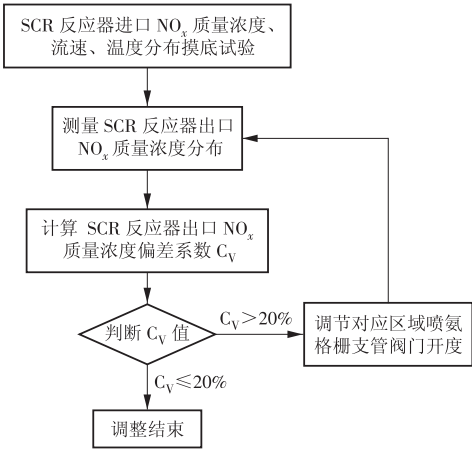


图 2 SCR 装置喷氨优化调整试验方法

规工况的摸底试验结果,调整各喷氨格栅支管的喷氨量。首先适当调高 NO_x 较高的区域的喷氨量,减小 NO_x 较低区域的喷氨量,调整后重新测量 SCR 反应器出口的氮氧化物分布。优化试验是逐步进行的,需要进行多次调整,直至调整合格。试验过程中不宜进行大幅度的调整,应选择 2~3 个点进行小幅调整,掌握具体反应器的特征后再逐步调整,每次调整应记录被调阀门的原始位置及调整幅度,最终达到“削峰填谷”的效果。

为了能准确地反映反应器进、出口截面的 NO_x 质量浓度分布情况,分别在反应器 A,B 侧烟道截面处设置 7×5 个测点。试验使用德国罗斯蒙特 NGA2000 型便携式红外烟气分析仪及烟气预处理装置网格法测量 NO_x 质量浓度和 O₂ 体积分数;烟气流速采用 S 型皮托管和电子微压计进行测量;采用标准化学溶液法采集氨逃逸样品,使用靛酚蓝分光光度法在 12 h 内完成样品分析。

3 AIG 优化调整试验结果与分析

3.1 SCR 反应器入口 NO_x 质量浓度分布情况

SCR 反应器 A 至 B 侧方向的测孔位置依次编号为 A1,A2…A7,B7,B6…B1,每个测点取 5 个不同深度,依次为 P1,P2,P3,P4,P5。为了更好地对喷氨量作出精细化调整,试验前对脱硝反应器入口 NO_x 质量浓度分布情况进行了摸底测试,试验结果如图 3 所示。

在常规运行负荷下,SCR 反应器 A 侧入口 NO_x 质量浓度平均值为 491.00 mg/m³,NO_x 质量浓度分布相对标准偏差为 3.1%;SCR 反应器 B 侧入口 NO_x 质量浓度平均值为 507.00 mg/m³,NO_x 质量浓度分布相对标准偏差为 3.0%。SCR 反应器入口 NO_x 质量浓度接近设计值 500.00 mg/m³,且 NO_x 质量浓度分布均匀性较好。

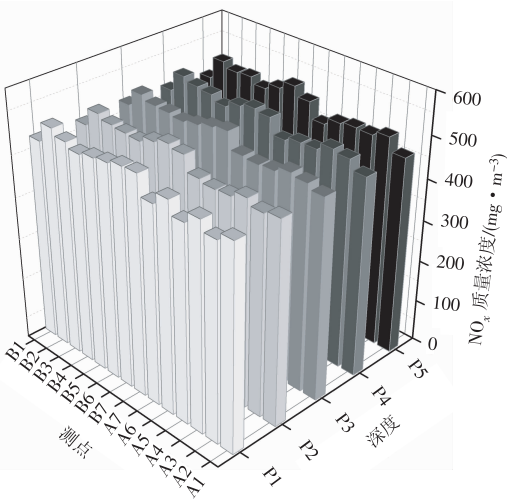


图 3 SCR 反应器入口 NO_x 质量浓度分布(截图)

3.2 优化调整前 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度分布情况

在常规运行负荷下,喷氨优化调整试验前 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度分布情况如图 4 所示。

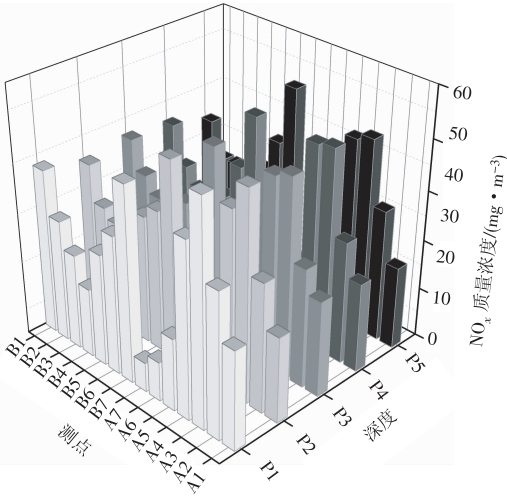


图 4 喷氨优化调整前 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度分布(截图)

由图 4 可看出,SCR 反应器 A 侧出口沿反应器外侧至锅炉中心线方向,NO_x 质量浓度分布明显呈两侧偏低中间偏高现象,特别是靠近锅炉中心线一侧 NO_x 质量浓度明显处于异常较低水平。A 侧反应器出口截面 NO_x 质量浓度最大值为 67.00 mg/m³,最小值为 7.00 mg/m³,平均水平为 33.00 mg/m³,NO_x 质量浓度分布相对标准偏差为 60.8%。

B 侧出口沿反应器外侧至锅炉中心线,NO_x 质量浓度分布呈两侧偏高中间偏低分布特点。B 侧反应器出口截面 NO_x 质量浓度最大值为 64.00 mg/m³,最小值为 21.00 mg/m³,平均水平为 40.00 mg/m³,NO_x 质量浓度分布相对标准偏差为 28.9%。

与 A 侧相比,B 侧反应器出口均匀性较好。但

SCR 反应器出口 A,B 两侧 NO_x 质量浓度分布相对标准偏差均大于 20.0%,有必要进行喷氨格栅的优化调整试验。

3.3 优化调整后 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度分布情况

根据 SCR 反应器出口 NO_x 分布及氨逃逸摸底测试结果,合理调节脱硝反应器 A,B 两侧各喷氨格栅支管阀门开度,以期达到出口截面 NO_x 质量浓度分布相对标准偏差控制在 20% 以内的目标。

经过数轮喷氨优化调整后,反应器出口截面 NO_x 质量浓度较高的区域有所降低,NO_x 质量浓度较低的区域有所提高,达到了“削峰填谷”的效果。喷氨优化调整试验后的 NO_x 质量浓度分布情况如图 5 所示。

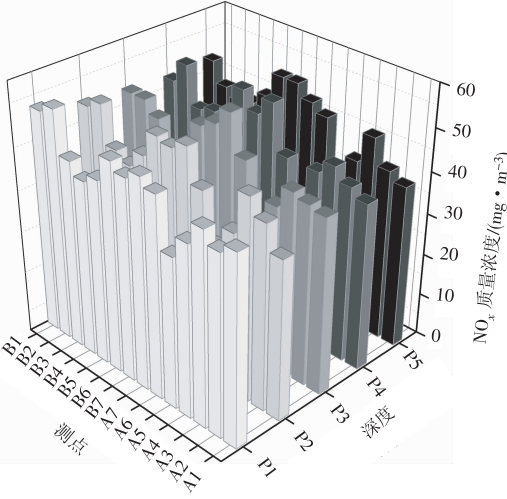


图 5 喷氨优化调整后 SCR 反应器出口 NO_x 质量浓度分布(截图)

由图 5 可看出,在机组常规负荷运行、SCR 反应器入口 NO_x 质量浓度分布较为均匀的情况下,经数轮喷氨优化调整,反应器出口 NO_x 质量浓度分布均匀性得到明显改善。SCR 反应器 A 侧和 B 侧出口 NO_x 质量浓度分布相对标准偏差由调整前的 60.8% 和 28.9%,分别降至 13.5% 和 8.8%。

为进一步验证喷氨优化调整的结果,对 SCR 反应器两侧出口共 10 个测孔的氨逃逸进行了测试,调整前后各测孔平均氨逃逸质量浓度试验结果如图 6 所示。SCR 反应器 A 侧和 B 侧出口氨逃逸质量浓度平均值由调整前的 5.54 mg/m³ 和 4.31 mg/m³ 分别下降至 2.03 mg/m³ 和 1.99 mg/m³,A 侧和 B 侧 SCR 反应器出口氨逃逸质量浓度分别降低了 63.4% 和 53.8%。

经数轮喷氨优化调整试验后,虽然个别测点平均氨逃逸率仍然有波动,但是相比优化调整前,SCR 反应器 A 侧和 B 侧出口氨逃逸质量浓度平均水平

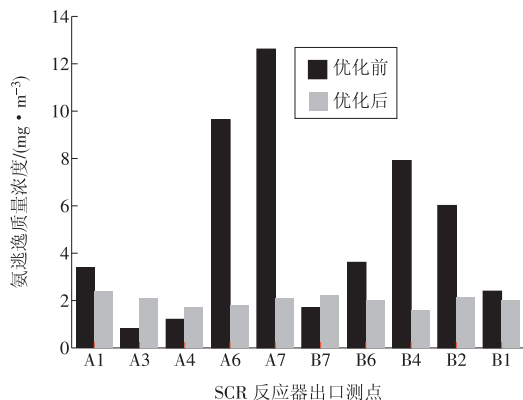


图 6 喷氨优化调整前后 SCR 反应器
出口氨逃逸质量浓度分布(截图)

显著降低,特别是 A 侧氨逃逸质量浓度降低更为明显。

4 结论

(1)经喷氨优化调整,SCR 反应器出口 A 侧和 B 侧 NO_x 质量浓度分布相对标准偏差由 60.8% 和 28.9%,分别降至 13.5% 和 8.8%。氨逃逸质量浓度分别降低了 63.4% 和 53.8%。反应器出口 NO_x 质量浓度分布均匀性得到明显改善,同时氨逃逸质量浓度也得到了控制。

(2)由于氨逃逸在线连续监测数据与实际情况偏差较大,建议密切关注空预器差压,定期进行氨逃逸测试,由飞灰中氨含量辅助推断氨逃逸状况。

(3)停机检修期间对脱硝催化剂层进行严格检查,观察其堵塞与磨损状况,并进行必要的处理。

(上接第 72 页)燃煤时,适当掺入低灰分煤种,调整除尘器运行参数和振打方式,同时尽量缩短输灰系统循环周期。

(6)减少开机过程中油燃料投入时间,降低锅炉燃烧调整的幅度,减少灰斗中的自燃和黏着现象。当锅炉采取油煤混烧方式时,少量没有燃烧充分的细微油颗粒与灰颗粒混合,造成油灰流动性差^[4]。锅炉燃烧调整阶段有可能出现燃烧不充分现象,飞灰的含碳量大、密度大,不利于流动。运行检修人员应密切注意锅炉点火阶段的运行状态,提前开动除尘器振打装置,缩短输灰系统循环周期。

5 结束语

除尘器系统和气力除灰系统的运行情况直接影响机组的正常运行,甚至可能造成机组停机。由于灰斗积灰堵塞造成的除尘器系统停运是诸多原因长时间积累的结果,因此,应采取合理的控制手段并加

(4)鉴于影响脱硝效率的因素比较复杂,及催化剂问题具有隐蔽性,建议根据实际运行情况,定期进行氨逃逸质量浓度和脱硝效率联合优化调整试验工作。

参考文献:

- [1] TIAN H, LIU K, HAO J, et al. Nitrogen oxides emissions from thermal power plants in china current status and future predictions[J]. Environ Sci Technol, 2013, 47(19): 11350 - 11357.
- [2] 李俊华, 杨恂, 常化振. 烟气催化脱硝关键技术研发及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [3] 马双忱, 金鑫, 孙云雪, 等. SCR 烟气脱硝过程硫酸氢铵的生成机理与控制[J]. 热力发电, 2010, 39(8): 12 - 17.
- [4] FELIX JD, ELLIOTT EM, SHAW SL. Nitrogen isotopic composition of coal-fired power plant NO_x : influence of emission controls and implications for global emission inventories[J]. Environ Sci Technol, 2012, 46(6): 3528 - 3535.
- [5] LEI Z, WEN C, CHEN B. Optimization of internals for Selective Catalytic Reduction(SCR) for NO removal[J]. Environ Sci Technol, 2011, 45(8): 3437 - 3444.
- [6] 方朝君, 金理鹏, 余美玲. SCR 脱硝喷氨优化与运行控制研究[J]. 电力科技与环保, 2015, 31(6): 39 - 42.

(本文责编: 刘炳锋)

作者简介:

郝功涛(1987—),男,山西孝义人,工程师,工学硕士,从事火电行业锅炉及环保技术研究工作(E-mail: gongtao - hao @ chder. com)。

强日常运行监视和巡检,以保证除尘除灰系统正常、稳定运行。

参考文献:

- [1] 吴玉生. 燃煤电厂烟尘超低排放技术路线比选研究[J]. 能源与节能, 2016(4): 5 - 7, 9.
- [2] 金维勤. 气力除灰实际应用中应关注的事项[J]. 电力建设, 2008, 29(9): 50 - 52.
- [3] 火力发电厂除灰设计技术规程: DL/T 5142—2012[S].
- [4] 张晓博. 火电厂电除尘灰斗积灰简单判别[J]. 华电技术, 2014, 36(10): 63 - 64, 66.

(本文责编: 刘芳)

作者简介:

符思聪(1989—),男,湖南长沙人,工程师,从事电力行业环境保护工作(E-mail: fscwhu@163.com)。