

SCR脱硝系统烟气流场分布研究及优化控制

Study on the distribution and optimization control of
SCR denitration system flue gas flow field

林青
LIN Qing

(华电新乡发电有限公司,河南 新乡 453635)
(Huadian Xinxiang Power Generation Company Limited, Xinxiang 453635, China)

摘要:国内外选择性催化还原(SCR)脱硝系统烟气流场优化仅限于通过数值和物理模拟来优化设计导流板,最终效果参差不齐。根据机组运行期间SCR脱硝系统入口烟气流场均匀性检测结果,机组停运期间脱硝烟道内部检查情况,进行脱硝系统入口氨烟混合扰流发生器的设计及数值模拟,选择最佳的氨烟混合扰流发生器进行安装施工,项目实施后进行喷氨优化调整,实现SCR脱硝系统烟气流场优化,降低脱硝液氨耗量,减少硫酸氢铵的生成,减轻空气预热器的堵塞,减轻脱硝催化剂的磨损和堵塞。为存在此类问题的其他同类型机组电厂解决上述问题提供可借鉴经验和技術支撑。

关键词:选择性催化还原;流场优化;氨烟混合器;硫酸氢铵;空气预热器;脱硝;催化剂

中图分类号:X 773 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2019)12-0058-05

Abstract: The optimization for flue gas field of international and domestic SCR denitration systems is limited to the optimizing of deflector design through numerical and physical simulations, and the results are unstable. Based on the uniformity detection for flue gas field at SCR denitration inlet during operation, and the internal inspection for denitration flue duct during shutdown, the design and numerical simulation for ammonia-smoke mixed flow spoiler at denitration inlet were executed, and the optimum flow spoiler was selected and installed. The ammonia injecting adjustment was made after the project, and the flow field of SCR denitration system was optimized. The project reduced the ammonia consumption for denitration and the production of NH_4HSO_4 , also alleviate the blockage of air preheaters and the wear and blockage of the denitration catalyst. At the same time, it provides reference and technical support for other similar units in solving the problems above.

Keywords: SCR; flow field optimization; ammonia-smoke mixer; NH_4HSO_4 ; air preheater; denitration; catalyst

1 设备概况

华电新乡发电有限公司(以下简称新乡公司)2台锅炉为东方锅炉集团股份有限公司生产的单炉膛、一次中间再热、尾部双烟道采用挡板调节再热汽温、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构、II型布置的超临界压力变压运行直流锅炉。锅炉尾部烟道布置脱硝系统,采用高灰型选择性催化还原(SCR)烟气脱硝工艺,脱硝系统入口烟气含尘质量浓度 $\leq 44.9 \text{ g/m}^3$, NH_3/NO_x 比不超过保证值0.84条件下,脱硝效率 $\geq 92.3\%$,氨逃逸量 $\leq 2.28 \text{ mg/m}^3$, SO_2/SO_3 转化率小于1%。

2 研究意义

烟气流场不均问题为大多数电厂的共性问题,其影响如下。

(1)SCR脱硝系统烟气流场不均,造成脱硝喷氨不均,喷氨量增大,液氨消耗量增加。

(2)SCR脱硝系统出口氨逃逸率升高,硫酸氢铵的生成量增加,容易造成空气预热器腐蚀堵塞。

(3)SCR脱硝系统入口烟气流速高区域容易造成脱硝催化剂磨损,流速过低区域容易造成脱硝催化剂堵塞。

(4)SCR脱硝系统入口烟气流速高区域容易造成喷氨格栅喷嘴磨损,流速过低区域容易造成喷氨格栅喷嘴堵塞^[1-5]。

3 SCR 脱硝系统烟气流场均匀性分析

SCR 脱硝系统烟气流场均匀性检查主要采用机组运行期间试验及机组停运期间内部检查相结合的方式。

(1)采用网格法测量 100% ,75% ,50% 3 种负荷率工况下 SCR 脱硝系统入口烟道各点的烟气流速、压力、温度和氧量,SCR 脱硝系统出入口烟道内 NO_x 质量浓度分布情况。

(2)机组停运期间检查,主要为进入 SCR 脱硝系统内部,通过喷氨格栅喷嘴积灰及磨损位置、脱硝入口烟道积灰分布位置、脱硝催化剂等综合分析脱硝系统内烟气流速分布情况^[6]。全面检查喷氨格栅喷嘴情况如图 1— 6 所示。



图 1 喷氨格栅下部(积灰少,局部有磨损)
Fig.1 The lower part of the ammonia-injecting grid(with little ash and local wear)



图 2 喷氨格栅上部(积灰多,未见磨损)
Fig.2 The upper part of the ammonia-injecting grid(with accumulated ash and no wear)

分析机组停运期间脱硝系统内部检查情况,可得出如下结论。

(1)根据脱硝系统喷氨格栅下部积灰少、局部有磨损和脱硝系统喷氨格栅上部积灰多、未见有磨损的现象,判断喷氨格栅前水平烟道处上部烟气流速低、下部烟气流速高^[7]。

(2)根据第 1 层催化剂上前部整流格栅积灰少、后部整流格栅积灰多的现象,判断第 1 层催化剂上部烟气流速靠近部分流速高、靠后部分流速低^[8-10]。



图 3 第 1 层催化剂上前部整流格栅(灰少)
Fig.3 Fore rectifier grid on the first-layer catalyst(little ash)



图 4 第 1 层催化剂上后部整流格栅(灰多)
Fig.4 Rear rectifier grid on the first-layer catalyst(much ash)

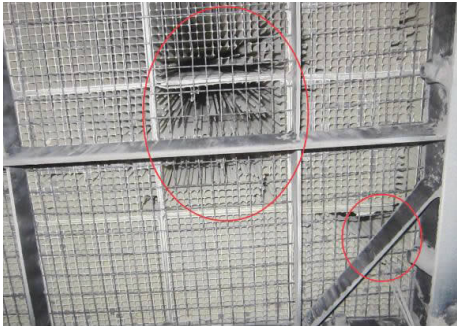


图 5 靠前烟道脱硝催化剂底部存在磨损
Fig.5 Abrasion at the bottom of denitration catalyst in fore flue duct

(3)根据靠前烟道脱硝催化剂底部存在磨损、靠后烟道脱硝催化剂底部正常无磨损的现象,判断脱硝催化剂区域靠前烟道烟气流速高,靠后烟道烟气流速低。

4 烟气流场数值模拟和物理模拟

按照新乡公司脱硝系统的实际尺寸,1: 1 进行数学模型建模计算。建模网格总数为 337 万,99.99% 的网格扭曲度在 0.82 以下,网格的最大扭曲度仅为 0.91。速度场偏差和 NH₃/NO_x 比偏差的监测点布置在第 1 层催化剂上面 300 mm 处。采用 FLUENT 软件对流场进行模拟,按照脱硝装置的实际尺寸 1: 1 进行建模计算^[11]。为便于计算,作如下假设。



图 6 靠后烟道脱硝催化剂底部正常无磨损
Fig. 6 No abrasion at the bottom of denitration catalyst in rear flue duct

- (1)将烟气视为不可压缩牛顿流体。
- (2)系统绝热。
- (3)省煤器入口烟气流动场分布均匀。
- (4)不考虑化学反应。
- (5)将催化剂层设为多孔介质。
- (6)不考虑混合器及烟道内壁面的摩擦。

基于上述假设,在计算中采用连续性方程、动量方程、湍流动能(k)方程、湍流动能耗散率(ε)方程、组分方程、能量方程。速度场偏差和 NH_3/NO_x 比偏差的监测面设置在第 1 层催化剂上面 300 mm 处,与现场测试点的位置相同。在求解过程中,采用松弛迭代的变松弛系数法,采用一阶迎风差分,压力-速度的耦合方式为 SIMPLIC 算法^[12],不同情况下的速度场分析如图 7—9 所示。

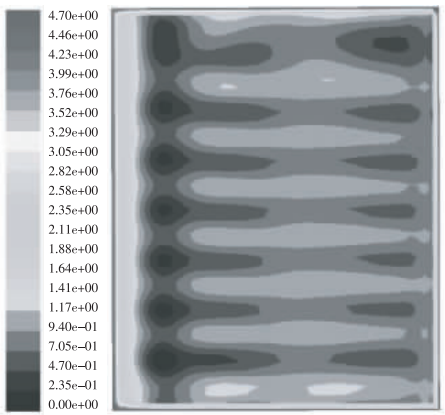


图 7 无氨烟混合扰流器
Fig. 7 Ammonia-free mixed flow spoiler

对 3 个工况下的 SCR 脱硝系统阻力和单个混合器阻力进行对比,见表 1。加装混合器之后不可避免地会增加系统阻力,其中加装方形叶片混合器增加了 115 Pa,圆形叶片混合器增加了 80 Pa,分别较原有系统阻力增加了 11.7% 和 8.2%,增加幅度

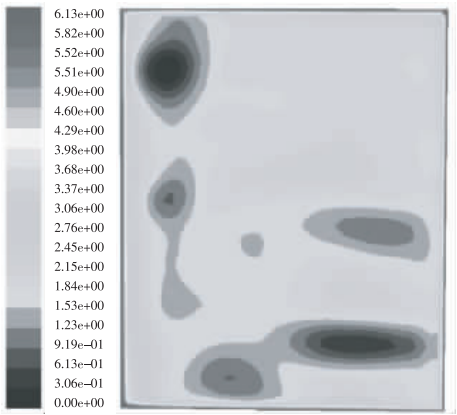


图 8 方形氨烟混合扰流器
Fig. 8 Rectangular ammonia-smoke mixed flow spoiler

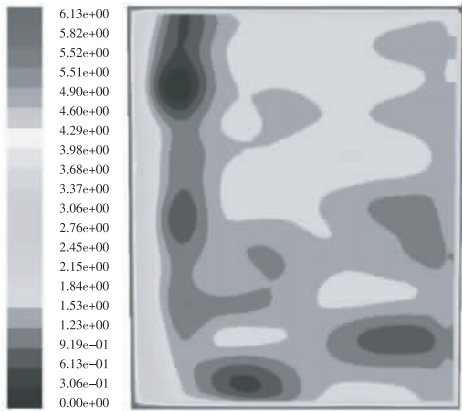


图 9 圆形氨烟混合扰流器
Fig. 9 Circular ammonia-smoke mixed flow spoiler

较小;计算单个混合器的阻力可知,方形叶片混合器阻力为 185 Pa,圆形叶片混合器阻力为 155 Pa,其阻力大于加装混合器之后系统增加的阻力,可推知加装混合器之后,虽然混合器本体阻力增加,但其改善了系统其他区域的流场,使烟气阻力下降,抵消了部分混合器本体所增加的阻力,其中方形叶片混合器抵消了 70 Pa 的阻力,圆形叶片混合器抵消了 75 Pa 的阻力。因此,圆形叶片混合器在阻力方面的表现较方形叶片混合器更佳^[13]。

表 1 不同工况下的阻力情况

项目	混合器		
	无	方形	圆形
系统阻力	980	1 095	1 060
单个静态混合器阻力	—	185	155

根据以上对比,可得出如下结论。

(1)氨烟混合装置对速度偏差的改善能力弱,其与叶片形状有密切关系,不合适的叶片形状选择会使烟气的速度场均匀性变差。

(2)氨烟混合装置对 NH_3/NO_x 比的分布均匀性改善能力较强,可使第 1 层催化剂前的 NH_3/NO_x 比偏差降低 40% 以上,其改善能力与叶片形状关系较小。

(3)加装氨烟混合装置会增加脱硝系统阻力,但其会改善其他区域的流场来降低本身阻力带来的影响,其中圆形叶片混合器所增加的阻力较方形叶片混合器小。

综上所述,圆形叶片氨烟混合扰流器较方形叶片氨烟混合扰流器更适用于脱硝系统。

当物理模拟 SCR 脱硝系统烟道内烟气流量偏差超过 10% 时,则重新进行数值模拟计算。根据数值模拟计算情况优化导流板结构,再次进行物理模拟,直至达到流量偏差在 10% 以内的要求,根据最终模拟情况进行导流板调整,采用导流板布局和结构调整,实现 SCR 脱硝系统烟气流场优化。采用 FLUENT 软件对加装圆形叶片的氨烟混合扰流发生器后的预计效果进行模拟,烟道内流线图如图 10 所示。

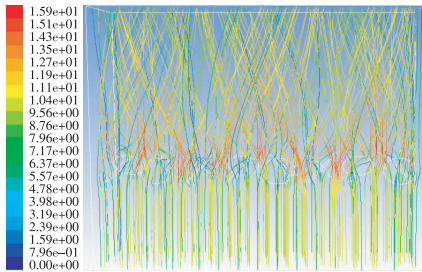


图 10 脱硝系统入口烟道烟气流线图

Fig. 10 Flue gas flow chart at denitration inlet

5 氨烟混合扰流实践应用

结合 #2 机组大修,在 #2 机组脱硝系统喷氨格栅后加装圆形氨烟混合扰流发生器。对脱硝系统入口烟道进行实际勘察发现,喷氨格栅后的烟道支撑比较密集,需要割除一组烟道支撑。用氨烟混合扰流器代替割除的支撑,安装完成后对烟道的受力不会造成影响。如图 11 所示,扰流器具体安装位置在喷氨格栅后 1.5 m 处,圆形叶片氨烟混合装置的叶片直径为 700 mm,偏斜角度均为 45°,将静态混合器两端焊在烟道上下两侧,所有部件保持水平误差 10 mm。

6 开展 SCR 脱硝系统喷氨优化调整

优化 SCR 脱硝系统喷氨均匀性。组织开展喷氨优化试验,确定脱硝系统氮氧化物数值,通过调整就地喷氨调门调整脱硝系统两侧喷氨均匀,调整前后情况见表 2,实现 SCR 脱硝系统喷氨准确性、均匀

性,减少过喷、少喷、漏喷现象^[14-15]。



图 11 氨烟混合扰流器安装后

Fig. 11 Photos after installation of ammonia-smoke mixed flow spoiler

表 2 喷氨优化调整前后脱硝系统参数

Tab. 2 Parameters of the denitration system before and after ammonia-injection optimized adjustment

项目		调整前	调整后
机组负荷/MW		297. 2	305. 9
主蒸汽流量/(t · h ⁻¹)		815. 9	838. 7
SCR 脱硝系统入口 NO _x 质量浓度/(mg · m ⁻³)	A	691. 4	670. 4
	B	777. 5	736. 7
SCR 脱硝系统入口 O ₂ 质量分数/%	A	6. 2	6. 9
	B	6. 0	4. 7
SCR 脱硝系统出口 NO _x 质量浓度/(mg · m ⁻³)	A	26. 5	14. 0
	B	43. 2	47. 1
SCR 脱硝系统出口 O ₂ 质量分数/%	A	5. 7	6. 2
	B	6. 3	6. 3
SCR 脱硝系统出口 NH ₃ 质量分数/%	A	0. 72	0. 61
	B	0. 88	0. 74
供氨量/(kg · h ⁻¹)	A	108. 7	103. 2
	B	137. 7	127. 1
喷氨主阀开度/%	A	4. 21	0. 35
	B	45. 75	48. 95
脱硫净烟气 NO _x 质量浓度/(mg · m ⁻³)		34. 0	41. 7
脱硝效率/%	A	96. 16	97. 91
	B	94. 44	93. 61
稀释风量/(m ³ · h ⁻¹)	#1 机组	8 331. 5	8 077. 1
	#2 机组	9 392. 5	9 381. 0

7 结论

(1)在 300 MW 工况下, #2 机组脱硝系统喷氨量下降 22. 4% ,16. 6% ,10. 9% ,平均下降 16. 6% ;在 350 MW 工况下, #2 机组脱硝系统喷氨量下降 15. 5% ,13. 7% ,平均下降 14. 6% ;在 400 MW 工况下, #2 机组脱硝系统喷氨量下降 11. 4% ,19. 5% ,

平均下降 15.5%。综上所述, #2 机组脱硝系统喷氨量平均下降 15.6%。

(2)在 300 MW 工况下, #2 机组脱硝系统阻力增加 3.0,48.6 Pa;在 350 MW 工况下, #2 机组脱硝系统阻力增加 8.4,50.3 Pa;在 400 MW 工况下, #2 机组脱硝系统阻力增加 18.6,19.7 Pa。由此可见, #2 机组脱硝系统烟气流场优化后,脱硝系统烟气阻力未明显增加。

参考文献:

[1]陈新顺,张欢. 火电厂锅炉脱硫脱硝及烟气除尘的技术解析[J]. 山东工业技术,2019(5):179.

[2]曲立涛. 燃煤机组 SCR 脱硝系统常见问题分析[J]. 资源节约与环保,2016(10):25-26.

[3]游松林,罗洪辉,王振,等. 燃煤电厂 SCR 脱硝系统氨逃逸率控制技术研究[J]. 华电技术,2019,41(2):55-59.

[4]方明成,刘玉强,王润明,等. SCR 脱硝系统喷氨优化调整试验研究[J]. 华电技术,2018,40(9):61-65.

[5]刘晓敏,雷嗣远,马云龙,等. 某 300 MW 机组 SCR 脱硝装置氨喷射系统优化改造研究[J]. 华电技术,2018,40(4):59-62.

[6]邓全胜,孙法治. 脱硝 SCR 反应器堵灰原因分析[J]. 东北电力技术,2017(4):57-60.

[7]杜玉颖,孙永斌,詹扬,等. 燃煤电站超低排放控制技术应用方法与图谱[J]. 环境工程,2018(3):92-97.

(上接第 53 页)节省了资源。

参考文献:

[1]林世平. 燃气冷热电分布式能源技术应用手册[M]. 北京:中国电力出版社,2014:10-13.

[2]张栋. 天然气分布式能源发展相关问题分析[J]. 中国能源,2013,35(9):39-41.

[3]徐建中,邓建玲. 分布式能源定义及其特征[J]. 华电技术,2014,36(1):3-5.

[4]WU D W, WANG R Z. Combined cooling, heating and power: A review[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2006, 32(5-6):459-495.

[5]冉鹏,张树芳,郭江龙,等. 分布式能源系统的研究现状与应用前景[J]. 热力发电,2005,34(3):1-3,75.

[6]王雁凌,李蓓,崔航. 天然气分布式能源站综合价值分析[J]. 电力系统自动化,2016,40(1):136-142.

[7]顾志祥,孙思宇,孔飞,等. 燃气冷热电分布式能源系统设计优化综述[J]. 华电技术,2019,41(3):8-13,42.

[8]吴凯彬,彭旭东,杨秀芳,等. 分布式能源面临重大发展机遇[J]. 节能技术,2013,31(5):437-441.

[9]宋伟明. 我国天然气分布式能源的发展现状及趋势[J].

[8]孙静楠,王冠宇,秦一鸣,等. 计算流体力学软件在火电厂 SCR 脱硝技术中的应用[J]. 华电技术,2018,40(2):74-76.

[9]李新燕,孟凡强. 影响蜂窝式烟气脱硝催化剂设计选型的因素[J]. 华电技术,2018,40(2):64-67.

[10]杨松,丁皓姝,黄越. SCR 脱硝系统流场数值模拟及优化[J]. 热力发电,2014(9):71-75.

[11]朱晨曦,李苇林,郑迎九,等. 燃煤电厂联合脱硝 SCR 系统流场模拟研究和实践[J]. 华电技术,2015,37(6):1-4.

[12]罗敏,陈鸿伟,李凡,等. 600 MW 燃煤机组 SCR 催化剂入口流场模拟优化及改造分析[J]. 电力科学与工程,2016,32(6):8-13.

[13]俞斌. SCR 脱硝系统静态混合器优化布置数值模拟研究[J]. 计算机应用与软件,2016,33(12):60-62,66.

[14]程智海,翟永强,于江. 600 MW 燃煤机组多变截面 SCR 脱硝系统流场及喷氨优化[J]. 环境工程,2017,35(10):95-99.

[15]邹红果. 火电厂 SCR 脱硝方案的技术经济性比较[J]. 能源与节能,2017(10):84-85.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

林青(1985—),男,河南郑州人,工程师,从事火力发电厂技术管理方面的工作(E-mail:linqing3@chd.com.cn)。

中国能源,2016,38(10):41-45.

[10]杜炬虎,刘静. 园区燃气分布式能源站微电网结构解析[J]. 华电技术,2019,41(3):23-25,28.

[11]刘力军,魏韞颀,高菁,等. Symphony 分散控制系统的电气监控系统(ECS)特点[J]. 继电器,2007,35(13):74-76,84.

[12]范辉,路学谦. 电气监控系统纳入 DCS 的几点体会[J]. 电力自动化设备,2001(3):52-54.

[13]徐静静,张希,张爱平,等. 燃气分布式能源的电气监控系统案例分析[J]. 发电与空调,2016,37(4):7-10.

[14]冯伟江,黄健. 国内火电厂电气监控系统的应用和发展方向[J]. 继电器,2006,34(15):41-45.

[15]闫天军,郭伟,赵树春. 火电厂电气监控系统接入 DCS 方式的分析[J]. 电力系统自动化,2006(11):86-89.

(本文责编:张帆)

作者简介:

陈靖(1963—),男,江苏靖江人,高级工程师,从事天然气分布式能源系统集成优化工作(E-mail:chenj@chec.com.cn)。

张希(1988—),女,山东东明人,工程师,工学硕士,从事天然气分布式能源设计方面的工作(E-mail:369119079@qq.com)。