

文章编号:1671-6833(2015)04-0037-04

600 MW 燃煤锅炉 SCR 系统烟道导流板设计

王为术¹, 上官闪闪¹, 路统¹, 杨智峰², 郑春雄³, 陈刚¹

(1. 华北水利水电大学 热能工程研究中心, 河南 郑州 450011; 2. 大唐安阳发电有限责任公司, 河南 安阳 455004; 3. 深圳粤能环保再生能源有限公司, 广东 深圳 518111)

摘 要: 基于 FLUENT 6.3 软件对 600 MW 燃煤锅炉烟气选择性催化还原 (Selective Catalytic Reduction, SCR) 脱硝系统的导流优化设计进行数值模拟研究. 研究表明: 无导流装置下, 因烟道截面变化及弯头偏转, SCR 系统流场出现严重不均, AIG 下游截面两侧速度差达 15 m/s, 反应器入口速度偏差为 31.25%, 且尾部烟道内流场不均, 影响下游设备运行. 设计合理的导流板可有效改善烟道流场分布; 入口大小头处加装两组纵向导流板使 AIG 下游截面速度偏差减小为 15%, 反应器入口截面速度偏差降为 13%; 弯头处的导流板加装延伸导流段, 可对下游流场起到良好的均流效果.

关键词: SCR; 流场; 导流装置; 优化

中图分类号: TK11 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2015.04.009

0 引言

火电厂燃煤产生的氮氧化物造成大气污染的问题日益严重, 燃煤电站超净排放 NO_x 最新标准要求低于 50 mg/Nm^3 , 控制 NO_x 排放已成为当前电力行业发展的重要工作环节^[1-2]. 为适应日益严格的氮排放标准, 选择性催化还原 (SCR) 烟气脱硝技术已成为大型燃煤机组烟气脱硝的主要选择. 脱硝效率和氨逃逸率是衡量 SCR 脱硝系统性能的两大指标, 在 SCR 系统设计完成而且选定催化剂的前提下, SCR 系统烟道内的均流特性将是影响脱硝效率和氨逃逸率的重要因素. 因此, 在 SCR 脱硝烟道内加装导流板, 成为保证烟气分布均匀的主要方式^[3]. 毛剑宏等^[4-5]通过数值模拟和冷态试验的方法对 SCR 脱硝系统烟道内流场分布进行研究, 并对其进行优化. 杨超等^[6]针对 600 MW 机组 3 种方案 SCR 脱硝系统流动进行数值模拟, 为导流板的设计和合理配置提供参考依据. 贾兴豪等^[7]通过在弯管内部加装不同形式的导流板, 模拟弯管内流体流动特性, 证明在弯管内部加装不同形式的导流板, 模拟弯管内流体流动特性, 证明加装导流板能显著改善弯管内流体流动. 张彦军等^[8]则通过对 SCR 入口烟道的模拟计

算, 指出 SCR 入口烟道的设计布置以及导流结构设计是影响其工作的关键因素. 雷达等^[9]对布置有导流板的 SCR 烟道流场进行研究, 分析了不同导流方案对 SCR 系统运行的影响. 笔者基于 FLUENT 6.3 软件, 针对某电厂 600 MW SCR 烟道流场均化导流方案优化设计进行数值试验研究, 对工程技术改造提供参考.

1 数值模型

1.1 研究对象

研究对象为某电厂燃煤机组的 SCR 脱硝系统, 每台机组布置两台 SCR 反应器, 采用高尘区布置, 布置在锅炉省煤器烟道和空气预热器之间. 选取省煤器出口到空预器入口前烟道系统作为模拟对象, 由于两台反应器布置结构对称, 选取一个模拟研究. 以 100% 工况为模拟工况.

1.2 三维几何模型

三维几何模型和实际 SCR 系统按 1:1 尺寸构建. 根据系统实际情况, 在建模和模拟中做出简化如下: 将烟气视为不可压缩牛顿流体; 假设烟气入口速度均匀; 氨喷射以垂直面射流近似模拟; 稳流装置和催化剂层简化为均匀多孔结构; 多孔结构区域内流体压降采用多孔介质模型模拟.

收稿日期: 2015-01-30; 修订日期: 2015-03-19

基金项目: 河南省科技攻关计划项目 (142102210459)

作者简介: 王为术 (1972-), 男, 重庆开县人, 华北水利水电大学教授, 博士, 主要从事多相流和传热方面的研究, E-mail: wangweishu@ncwu.cn.

利用 GAMBIT 软件对 SCR 系统进行三维建模和网格划分, 网格模型如图 1 所示. 应用结构化/非结构化混合网格技术, 对管屏与导流板处进行局部加密, 在计算过程中通过逐步细化网格得到近似网格无关解, 网格总数为 400 万.

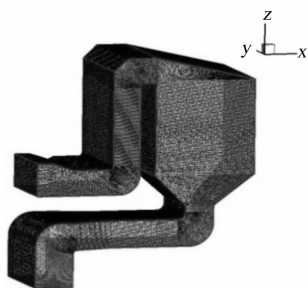


图 1 SCR 系统网格示意

Fig.1 Grid of SCR system

1.3 数学模型与边界条件

模拟中的连续性方程、动量方程、能量方程及组分守恒方程可用一个通用微分方程表示为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S. \quad (1)$$

式中: ϕ 是通用变量; Γ 是扩散系数; S 是源项. 方程中 4 项依次是非稳态项、对流项、扩散项和源项.

多孔介质的动量方程具有附加的动量源项. 源项由两部分组成, 一部分是黏性损失项 (Darcy); 另一部分是内部损失项, 如下式所示.

$$S_i = \sum_{j=1}^3 D_{ij} \mu v_j + \sum_{j=1}^3 C_{ij} \frac{1}{2} \rho |v_j| v_j. \quad (2)$$

式中: S_i 是 i 向 (x, y 或者 z) 动量源项; D 和 C 是规定的矩阵. 在多孔介质单元中, 动量损失对于压力梯度有贡献, 压降和流体速度成比例.

烟气的流动采用 RNG $k-\varepsilon$ 双方程模型来模拟, 采用一阶迎风差分格式, 隐式算法求解; 选用 SIMPLE 算法对压力速度进行耦合; 同时采用壁面函数法处理近壁区域, 应用组分输运模型来模拟各组分的混合, 计算采用低松弛迭代的变松弛系数法. 模型进口采用速度入口条件, 入口流场为断面平均流速, 模拟机组 BMCR 工况; 出口为自由出流.

为使烟道内的流场分布均匀, 首先对无导流板方案进行数值模拟, 再根据模拟结果对导流板进行优化设计, 先通过局部模拟得到该处导流板的安装位置、数量和形状, 设计出两套导流板方案, 再通过整体模拟得到系统的流场分布.

2 计算结果与分析

2.1 无导流板时 SCR 系统计算结果

图 2 为无导流板时 SCR 系统内的速度分布. SCR 系统内速度流线如图 2(a) 所示, 由于 SCR 系统烟道截面变化剧烈, 而烟气在宽度方向发展有限, 导致烟气在扩展面速度分布不均; 在弯头处因离心作用出现低速区域, 而且由于惯性, 烟气无法充满弯头整个区域. 烟气进入喷氨区域和反应器区域时, 速度分布不均加剧, 区域内流体充满度很差, 在催化剂层有效的体积只有近 70%. 利用效率低, 严重影响 SCR 系统的脱硝效率. 此外, 在系统尾部烟道处, 烟气流态依然紊乱, 会影响下游空气预热器的工作效率.

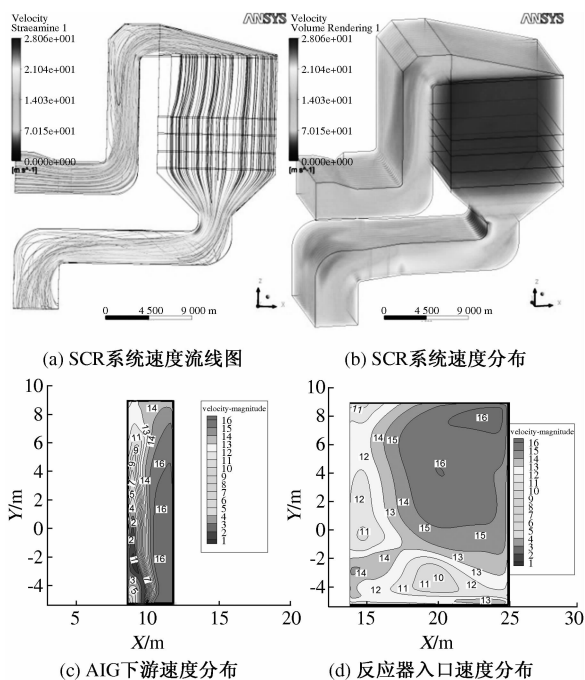


图 2 无导流板时 SCR 系统内速度分布

Fig.2 Velocity distribution of SCR system without splitters

由图 2(b) 可见, 在入口的大小头的上部出现高速区, 速度达 20 m/s 左右, 在弯头处由于出现大范围的低速区, 弯头内侧速度高, 且在 25 m/s 以上, 外侧低速区内烟气速度只有 5 m/s 左右; 进入竖直烟道后速度仍然分布不均, 如图 2(c) 所示, 近锅炉侧速度较低, 只有 1 m/s, 近脱硝侧速度则高达 16 m/s, 这对氨氮的混合十分不利; 当烟气到达反应器入口处时, 速度分布如图 2(d) 所示, 反应器入口处最大速度为 16 m/s, 最小速度为 11 m/s, 速度偏差高达 31.25%, 这会导致进入反应器区域的烟气分布不均, 降低催化剂利用率,

且过高的流速进入反应器区域会降低烟气与催化剂的接触时间,影响反应效果,进而造成脱硝效率较低和氨逃逸较大.

2.2 导流优化方案设计

根据无导流板时系统内烟气速度分布不均的结果,对系统内做导流优化设计.先通过局部模拟得到该处导流板的安装位置、数量和形状,再将局部导流设计整合得到两种导流优化方案,如图 3 所示.由于入口大小头处宽度方向单向扩充段角度为 36° ,高度方向单向减缩角度为 20° ,因此方案一在此处分别设计一排横向和一排纵向的导流板,方案二则设计两排纵向导流板;弯头处导流板均采用变间隔布置,方案二加装了延伸导流段.

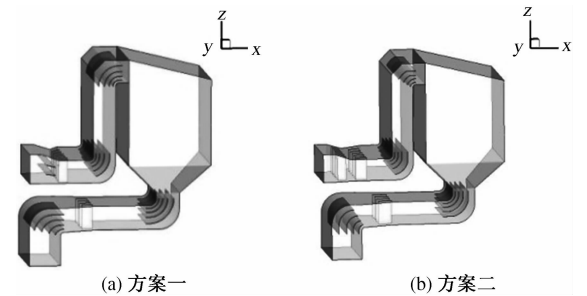


图 3 导流优化方案

Fig. 3 The optimizing schemes of flow guidance

2.3 导流优化方案模拟与分析

方案一优化后 SCR 系统内速度分布如图 4 所示,经方案一导流板优化后,由于导流板的作用,SCR 系统内流体充满度得到较大改善,在反应器区域内,烟气基本充满反应器空间,烟道弯头处依然存在低速区域,尤其在 SCR 系统尾部烟道内,速度分布严重不均.在入口大小头处分别设计一排横向导流板和一排纵向导流板的方案整流效果不明显,烟道两侧仍有 10 m/s 左右的速度差;由此导致烟气在 AIG 下游处速度分布不均,最大速度为 19 m/s ,最小速度只有 4 m/s ;反应器入口处的速度偏差为 30% .由此可见,由于宽度方向的扩充对下游烟道的影响较大,若扩充段速度分配不均,将会对下游烟气分布产生影响,导致机组脱硝效率降低.

方案二优化后 SCR 系统内速度分布如图 5 所示,导流优化方案二加入后,SCR 系统内流场得到明显改善,烟气充满整个反应器空间;弯头处烟气分布均匀,已无明显低速区,烟气速度在 10 m/s 左右.入口大小头处设计两排纵向导流板整流效果明显,速度分布均匀,烟气流速均在 15 m/s 左右;烟气在 AIG 下游处速度分布依然保持均

匀,速度偏差为 15% ;在反应器入口处的速度偏差则降为 13% .此外,由于弯头处的导流板都加装了延伸导流段,在 SCR 系统尾部烟道内速度分布依然均匀,从而减小了对下游机组的影响.由此可见,方案二整流优化效果明显高于方案一.

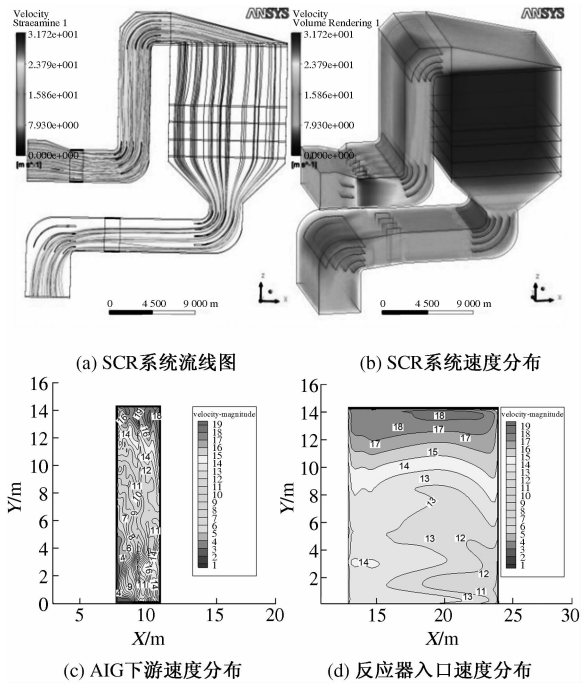


图 4 方案一优化后 SCR 系统内速度分布

Fig. 4 Velocity distribution of optimized SCR system with first scheme

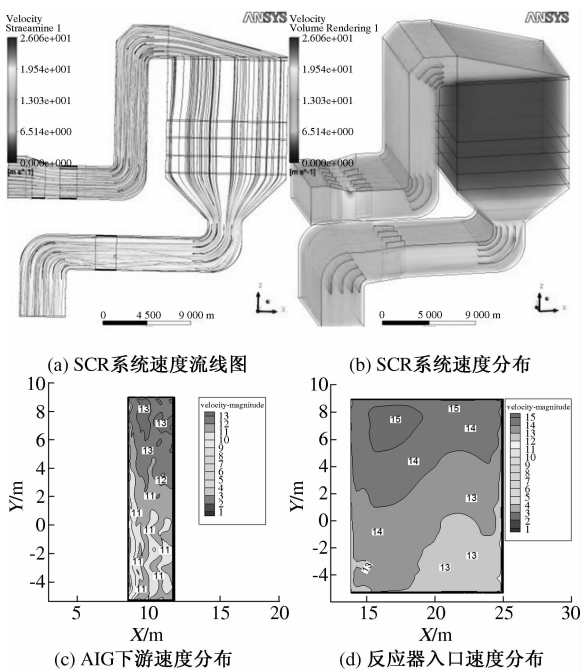


图 5 方案二优化后 SCR 系统内速度分布

Fig. 5 Velocity distribution of optimized SCR system with second scheme

3 结论

(1)在 SCR 系统无导流装置时,系统内烟气充满度很差,烟道内速度场分布严重不均,严重影响 SCR 系统的运行效率.

(2)采用导流板能有效改变烟道内烟气流动结构,以达到设计要求;SCR 系统烟道加装导流板可降低 AIG 下游截面和反应器入口的速度偏差,改善 AIG 下游氨氮混合和反应器内烟气速度的均匀性.

(3)系统入口大小头处应从对下游烟气分布影响较大的方面进行整流优化,方案二的设计,不仅改善了烟气在大小头处的速度分布,还对下游 AIG 处的氨氮混合和反应器的稳定高效运行提供了保证.

参考文献:

- [1] 汤元强. 燃煤电厂 SCR 烟气脱硝系统优化与飞灰颗粒运动的研究[D]. 上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2012.
- [2] HAN J H, HAN Y T, 崔建华. 选择性催化还原(SCR)脱硝技术在中国燃煤锅炉上的应用[J]. 热力发电,2007(8):13-18
- [3] 陈莲芳,周慎杰,王伟. 选择性催化还原烟气脱硝反应器流场的模拟优化[J]. 动力工程学报,2010,30(3):224-229.
- [4] 毛剑宏,蒋新伟,钟毅,等. 变截面倾斜烟道导流板对 AIG 入口流场的影响[J]. 浙江大学学报:工学版,2011,45(8):1453-1457.
- [5] 毛剑宏,宋浩,吴卫红,等. 电站锅炉 SCR 脱硝系统导流板的设计与优化[J]. 浙江大学学报:工学版,2011,45(6):1124-1129.
- [6] 杨超,张杰群,郭婷婷. SCR 烟气脱硝装置烟气流场数值模拟[J]. 东北电力大学学报,2012,32(1):66-70.
- [7] 贾兴豪,弯管导流结构的优化和数值模拟研究[D]. 重庆:重庆大学资源及环境科学学院,2011.
- [8] 张彦军,高翔,骆仲焕,等. SCR 脱硝系统入口烟道设计模拟研究[J]. 热力发电,2007,36(1):15-17,23.
- [9] 雷达,金宝升. 燃煤电站 SCR 内烟气流场及还原剂浓度场模拟与优化[J]. 煤炭学报,2009,34(3):394-399.

Design of Splitters in Flue of SCR System for a 600 MW Coal-fired Boiler

WANG Wei-shu¹, SHAGN GUAN Shan-shan¹, LU Tong¹, YANG Zhi-feng²,
ZHENG Chun-xiong³, CHEN Gang¹

(1. Institute of Thermal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 4500011, China; 2. Datang Anyang Power Generation Co. Ltd, Anyang 455004, China; 3. Shenzhen Yueneng Environmental Renewable Co. Ltd, Shenzhen 518111, China)

Abstract: Based on FLUENT6.3 software, the simulation and analysis were applied to the optimization design of splitters in Selective Catalytic Reduction (SCR) denitrification system for a 600MW coal-fired boiler. The results show that because of variable cross-section and deflection in flue, flow field in the system appears non-uniform severely when there is no splitters. The velocity difference on two sides of the section at AIG lower reaches is up to 15 m/s, the velocity deviations in the reactor inlet is 31.25%, and the flow field is poor in tail flue, which affects the operation of downstream equipments. Reasonable splitters can improve flow field in flue effectively. After equipping the transition pipe of the inlet with two group of longitudinal splitters, the velocity deviations in section at AIG lower reaches is reduced to 15% and in the reactor inlet is reduced to 13%. Splitters in elbow is equipped with an extension for guiding, which have a good effect on homogenization of the downstream flow field.

Key words: SCR; flow field; splitters; optimization