

660MW发电机组SCR入口脱硝流场的数值模拟与优化

陈 辞 崔 岩

国能双辽发电有限公司 吉林 四平 136400

摘 要：为了优化某电厂660MW燃煤机组脱硝入口烟气的流场、速度场和灰度场分布，基于CFD模拟仿真技术，建立脱硝系统的三维立体模型，并通过优化导流板，使得速度偏差和灰度偏差都满足设计性能指标，为脱硝设计提供了技术依据。

关键词：SCR脱硝；流场；数值模拟；氨氮摩尔比

引言

煤燃烧过程中产生的 NO_x 是造成大气污染的主要来源之一。针对燃煤烟气 NO_x 的治理与控制技术，迄今为止，已开发出多种 NO_x 控制技术^[1]。其中，选择性催化还原反应（SCR）脱硝技术以其技术成熟、脱硝率高、经济适用性好等优点成为大型燃煤电站烟气脱硝技术的主要选择^[2]。在SCR反应系统中，烟道受到空间限制，其设计和布置一般都较为紧凑，且烟道转角与变径段多，对烟气速度场、 NO_x 浓度场甚至灰度场有直接影响，进而影响脱硝反应效率^[3]。实际SCR工程应用中，一般采用计算流体动力学（Computational Fluid Dynamics, CFD）技术（或称数值模拟）对SCR系统进行流场模拟研究，掌握其流场特性，通过适当的方法优化SCR系统流场，从而为实际SCR系统工程设计提供最优流场建议，以确保满足SCR系统反应所要求的流场环境^[4]。

本文以某电厂660MW燃煤机组SCR脱硝反应系统的流场优化分析为例，通过数值模拟技术，对SCR进口流场进行综合治理，解决积灰问题、提升烟气混合能力。

1 设备概况

某电厂为 $2 \times 660\text{MW}$ 超临界燃煤机组，两台机组同步建设脱硝装置。脱硝装置采用选择性催化还原法（SCR），在设计煤种及校核煤种、锅炉最大工况（B—MCR）、处理100%烟气流条件下，脱硝效率不小于85%，催化剂层数按“2+1”布置。

目前该电厂脱硝入口流场存在较大问题，入口烟气流速和灰浓度分布均存在较大的不均匀性，脱硝入口灰

斗除灰效果不理想，导致催化剂存在严重的积灰和磨损问题，催化剂使用寿命低于设计值。

2 建立脱硝系统三维模型

2.1 物理模型及边界调节

本文所建模型范围为从省煤器出口至SCR反应器出口的烟气系统及其部件，包括烟气导流板、喷氨格栅、烟气整流格栅等所有内部部件。由于同一个机组左右两侧的脱硝烟道及反应器尺寸、布置形式完全一致，所以本文仅对单侧的脱硝烟道及反应器进行建模分析。

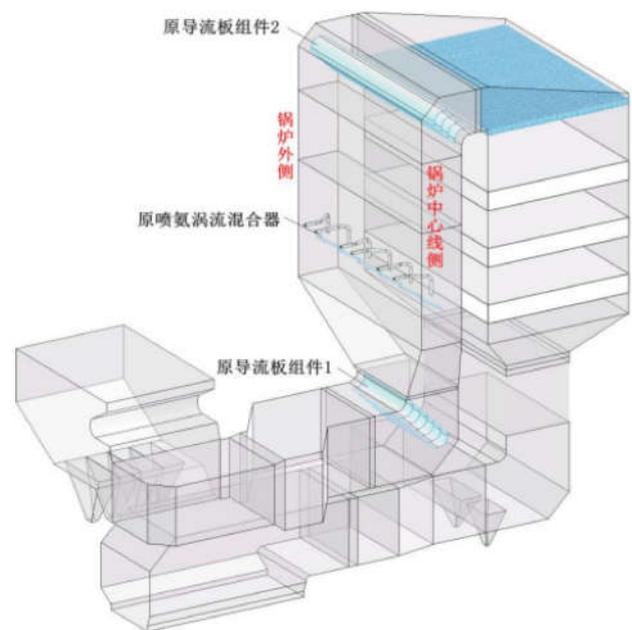


图1 优化方案的三维结构图

三维模型按照实际尺寸1:1建立，建模网格数目约1411万，优化方案中新增的导流板和喷氨混合器的位置和结构如图1所示，为了便于计算，做如下假设：

- 1) 将烟气视为不可压缩牛顿流体。
- 2) 系统视为绝热。
- 3) 将整流模块、催化剂层作为多孔介质处理，整流

作者简介：

陈辞 (1987.12)，男，生产检修工程师，热工程控保护二级，研究方向为热控自动化、信息安全，E-mail: 360316295@qq.com；

崔岩 (1986.02)，男，高级技师，研究方向为热控自动化。

模块及单层催化剂阻力按设计参数设置。

4) 将出口压力取零, 采用相对压力来计算系统阻力分布。

5) 省煤器出口烟气流场分布均匀^[5]。

2.2 数值模型

1) 湍流模型

烟气流动是三维湍流流动, 工程应用中对脱硝烟道内流场的数值模拟, 基本上仍是基于求解Reynolds^[6]时均化方程及关联量输运方程的湍流模拟方法, 即引入湍流模型。整个湍流流动过程遵循质量守恒、动量守恒及能量守恒。最简单的完整湍流模型是两个方程的模型, 要解两个变量, 速度和长度尺度。本次数值模拟中湍流模型采用realizable k-ε模型, 模型的方程包括湍流动能方程和扩散方程, 公式如下:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right]$$

$$+ c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - c_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

2) 物质输运方程

当选择解化学物质的守恒方程时, 通过第*i*种物质的对流扩散方程预估每种物质的质量分数*Y_i*。通用守恒方程如下:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} Y_i) = -\nabla \cdot \bar{J}_i + R_i + S_i$$

3 优化结果与分析

3.1 数值模拟结果

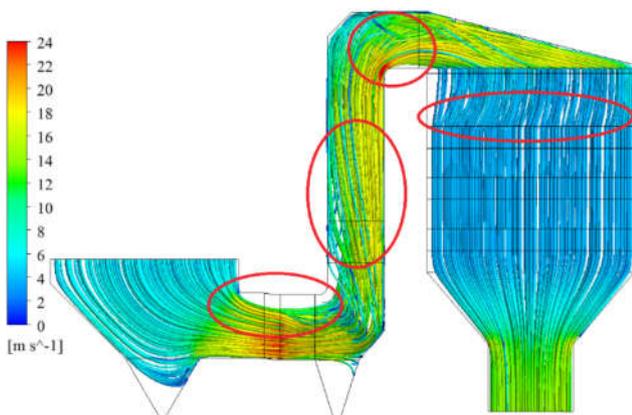


图2 原始结构烟气轨迹示踪三维图

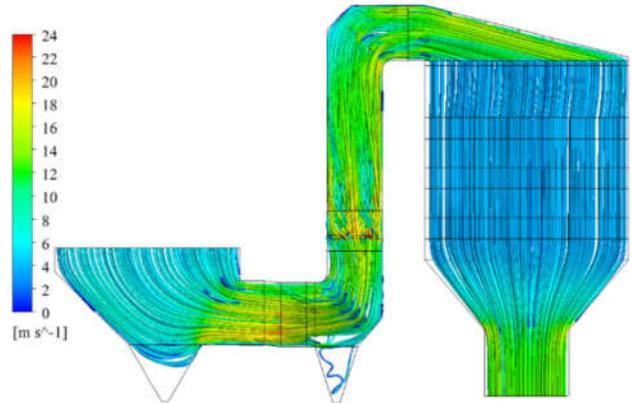


图3 优化结构烟气轨迹示踪三维图

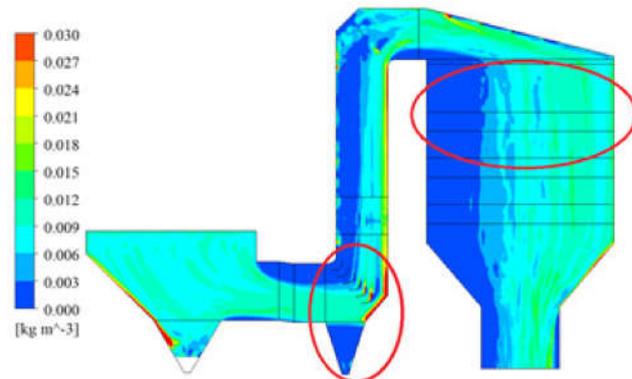


图4 原始结构飞灰浓度分布图

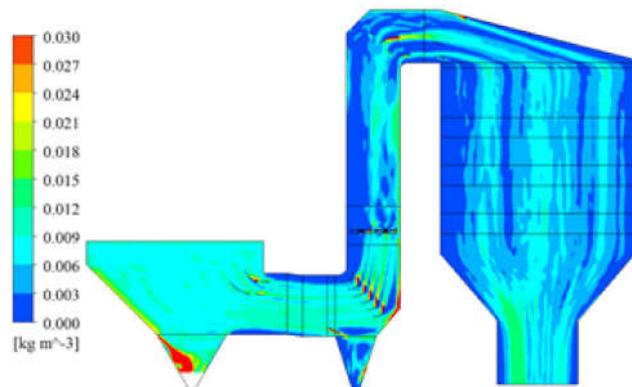


图5 优化结构飞灰浓度分布图

3.2 数值模拟分析

如图2、图3所示:

1) 在原始结构中, 大量烟气经过省煤器出口弯头进入SCR入口水平烟道时, 被挤入水平烟道底部, 在水平烟道顶部形成大范围低速区, 此低速区一直延伸至SCR入口竖直烟道(喷氨段), 导致喷氨段近炉侧与远炉侧的速度偏差超过15m/s。

2) 在原始结构中, 烟气自反应器入口水平烟道折向催化剂层时, 偏向远炉侧, 导致SCR入口烟气入射角偏大

以及首层催化剂入口近炉侧出现低速区、速度分布均匀性较差。

3) 在优化结构中, 通过在省煤器出口弯头处布置间断状的新增导流板组1, 将部分烟气分流补充至SCR入口水平烟道顶部, 可降低SCR入口水平烟道底部烟气的流速, 使得SCR入口竖直烟道近炉侧与远炉侧的速度偏差降低至5m/s以内。

4) 在优化结构中, 在反应器入口水平烟道末端新增导流板组4, 引导部分烟气补充至首层催化剂入口近炉侧, 并起到部分校正烟气流向的作用, 消除了首层催化剂入口近炉侧的低速区、提高速度分布均匀性、减小烟气入射角, 将首层催化剂入口的速度分布CV值降低至11%以下。

如图4、图5所示:

1) 既有方案中, 聚集在烟道底部的高流速气体携带能力强, 裹挟大量飞灰快速掠过布置于SCR入口水平烟道的灰斗, 导致省煤器出口的灰斗捕捉效率不高, 大量飞灰最终积聚在SCR入口水平烟道至竖直烟道的转角处。

2) 既有方案中, 反应器近炉侧和远炉侧飞灰浓度差别大, 易出现低负荷运行或停机时受重力影响而下落在近炉侧的积灰难以被携带, 高负荷运行时远炉侧同时出现高灰高流速区域的问题。

3) 优化方案中, 在SCR入口水平烟道的灰斗前, 布置倾向灰斗的新增导流板组2, 引导水平烟道底部的烟气和飞灰进入此灰斗, 提高灰斗的捕捉效率, 有效降低下游烟道中的飞灰浓度。

4) 优化方案中, 在SCR入口竖直烟道顶部弯头处新增导流板组3, 提高反应器前水平烟道底部的烟气流速和烟气携带能力, 防止飞灰在此处大量堆积, 甚至坍塌至

近炉侧催化剂。

4 总结

1) 通过优化SCR内导流板结构, 消除了烟道内漩涡和流动死区, 使烟气流速分布更加均匀。

2) 通过优化SCR内导流板结构, 将首层催化剂入口的速度分布CV值降低至11%以下, 速度偏差降低至5m/s以内, 满足燃煤电厂脱硝烟道CFD仿真性能指标要求^[7]。

3) 通过优化SCR内导流板结构, 调整了烟道内积灰分布, 减少了粉尘颗粒对催化剂的磨损, 可以提高催化剂寿命。

以上结果表明, 此电厂脱硝入口烟气流速和灰浓度分布不均的问题已经得到解决, 利用数值模拟技术对脱硝系统进行三维建模计算并指导于优化方案是可行并具有显著成效的。

参考文献

[1]朱法华,赵国华.燃煤电厂烟气脱硝的政策要求与建议[J].中国电力,2010,41(2):51-54.

[2]吴阿峰,李明伟,黄涛等.烟气脱硝技术及其技术经济分析[J].2006,Vol39.(11):71-75.

[3]潘伶,杨沛山,曹友洪,等.SCR脱硝反应器烟道内部流场的数值模拟与优化[J].环境工程学报,2015(6):7.

[4]孙琦明,施平平,谢芳.燃煤电厂SCR烟气脱硝系统流场优化分析[J].中国电机工程学会,2010.

[5]林青.SCR脱硝系统烟气流场分布研究及优化控制[J].华电技术,2019,41(12):5.

[6]王福军.计算流体动力学分析:CFD软件原理与应用.北京:清华大学出版社,2004.

[7]段传和.燃煤电站SCR烟气脱硝工程技术.北京:中国电力出版社,2009.