

应用数值模拟解决 SCR 脱硝反应器浓度偏差问题

孙小花¹, 霍 莉¹, 彭军军¹, 顾兴俊²

(1.南京开拓环保科技有限公司, 江苏 南京 210019; 2.江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211101)

摘 要: 氮氧化物 (NO_x) 的排放标准越来越严格, 而由于历史原因或者设计原因, SCR 脱硝系统在实际应用中存在各种流场及 NO_x 浓度偏差问题。本文以调整某电厂 600MW 机组 SCR 反应器浓度偏差为例, 研究数值模拟在电厂 SCR 脱硝反应器流场优化中的应用。研究表明, 数值模拟结果可靠, 可为脱硝系统流场优化提供可行建议。

关键词: SCR; 浓度偏差; 数值模拟; 流场

0 引言

氮氧化物 (NO_x) 是重要的大气污染物, 对生物和环境有着显著的危害。煤燃烧是 NO_x 的重要来源之一。我国为了控制 NO_x 的排放, 出了一系列严格的环保排放标准。根据 GB13223-2011, 燃煤锅炉氮氧化物 (以 NO₂ 计) 的限值将是 100mg/m³, 而近零排放则要求限值为 50mg/m³。火电厂脱硝技术主要有三种: 选择性催化还原技术 (SCR)、非选择性催化还原技术 (SNCR) 和联合脱硝技术 (SCR+SNCR)。其中, SCR 以其高效、可靠、结构简单等优点而成为目前大多数燃煤电厂脱硝技术的主要选择。

300MW 以上燃煤发电机组 SCR 脱硝反应器, 从省煤器出来都是分成 A、B 两侧后, 进入空预器。在反应器出口有一套 NO_x 监测仪表, 在脱硫吸收塔出口, 烟囱入口也有一套 NO_x 监测仪表。在实际运行过程中经常出现如下两种情况, 一、NO_x 浓度监测数据烟囱入口数值与反应器出口数据不一致, 偏差较大; 二、反应器两侧 NO_x 浓度监测数据不一致, 偏差较大。

本文针对某电厂脱硝反应器存在着各点脱硝效率不一致的问题, 结合电厂调试数据, 现场测试数据, 利用 CFD 手段来分析其内部的烟气流动形态, NH₃ 的分布状况, 并在原始结果的基础上进行优化, 实现最佳脱硝性能, 保证各点脱硝效率基本一致, 使得现场在线测试点的测试数据能基本反映该 SCR 反应器的脱硝效率。

1 判别标准

(1) 催化剂入口处烟气流速相对偏差 ≤15%;

(2) 催化剂入口处氨氮比分布相对偏差 ≤5%。

标准偏差系数的计算公式为:

$$C.V. = \sigma_v / V_o \times 100\%$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sum(V_i - V_o)^2 / (n-1)}$$

其中: σ_v : 标准偏差 (m/s);

V_o : 平均速度 (m/s);

V_i : 当地速度 (m/s);

n : 测量点数。

2 数值模拟

2.1 几何模型和网格布置

数值模拟中的几何模型如图 1 所示, 网格布置如图 2 所示。

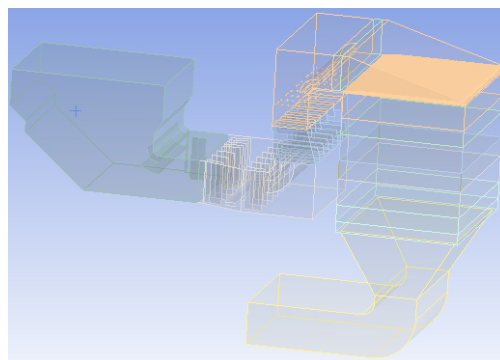


图 1 几何模型示意

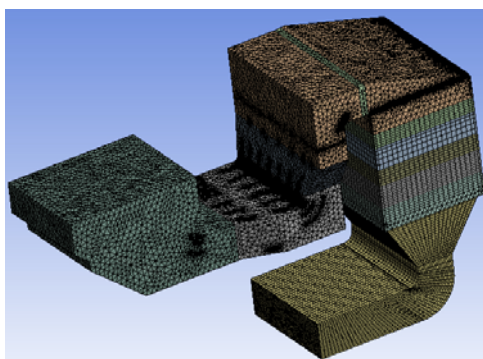


图 2 网格布置示意图

2.2 数学模型

整个脱硝装置内流场的数值模拟是通过 CFD 软件实现。模拟过程中数学模型的选取及边界条件的处理方式主要包括以下几个方面：

(1) 选用 Standard k- ϵ 模型对湍流进行简化模拟；

(2) 选用组分输运模型计算氨气在烟气中的输运和扩散；

(3) 催化剂层采用各向异性多孔介质模型进行简化；

(4) 边界条件的设定：烟气入口为质量入口条件，喷氨入口条件为速度入口，出口为压力出口；

该模型用有限体积法在离散的网格上进行求解。

2.3 BMCR 烟气量计算结果

2.3.1 整体氨浓度分布

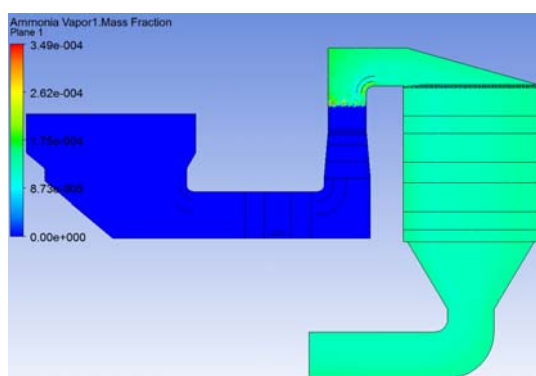


图 3 SCR 反应器氨浓度整体分布

通过图 3 可知，在此导流板的布置下，烟道内流速分布基本均匀，消除了无导流板的速度分布不均情况，同时进入第二层催化剂入口的氨浓度分布也趋于均匀。

2.3.2 第二层催化剂入口处氨浓度分布情况

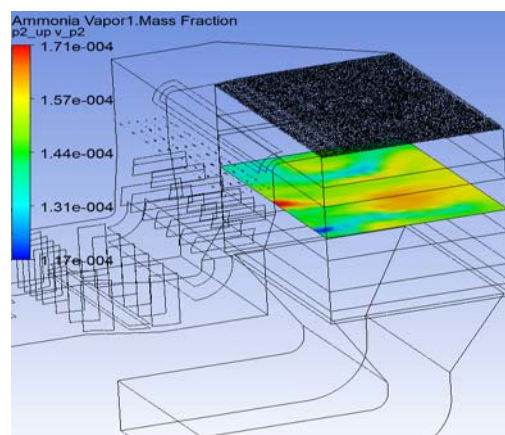


图 4 A 侧第二层催化剂入口处截面的氨浓度分布

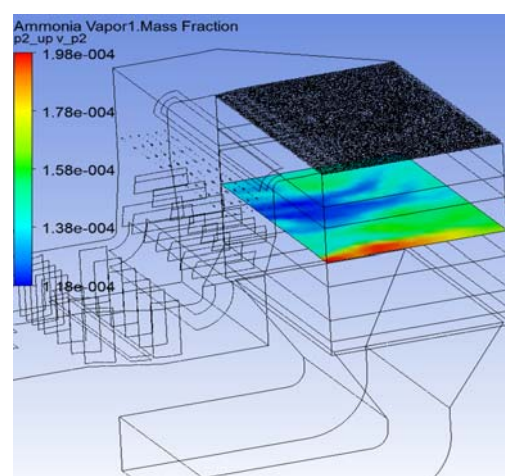


图 5 B 侧第二层催化剂入口处截面的氨浓度分布

通过分析可知，A 侧第二层催化剂入口处 NH_3 平均浓度为： $4.20\text{e-}06 \text{ kmol/m}^3$ ，

NH_3 浓度标准偏差： $2.83\text{e-}07 \text{ kmol/m}^3$ ，

NH_3 浓度相对偏差：

$\text{C.V.} = 2.83\text{e-}07 / 4.20\text{e-}06 = 6.74\% > 5\%$ (设计要求)

B 侧第二层催化剂入口处 NH_3 平均浓度为：

$4.10\text{e-}06 \text{ kmol/m}^3$

NH_3 浓度标准偏差： $4.90\text{e-}07 \text{ kmol/m}^3$

NH_3 浓度相对偏差：

$\text{C.V.} = 4.90\text{e-}07 / 4.10\text{e-}06 = 11.95\% > 5\%$ (设计要求)

2.3.3 烟道出口测试点截面的氨浓度分布

NH_3 浓度相对偏差 $\text{C.V.} = 5.98\%$ 。从图 6 可以看出，氨浓度在中间位置较高，会导致中间位置的脱硝效率较高，两侧的脱硝效率较低，从而形成两侧 NO_x 浓度较高，中间 NO_x 浓度较低的现象。

图 7 为 A 侧烟道出口测试点截面氨平均浓度的 95%-105% 的区域，在这些区域测得的 NO_x 脱硝效率可以代表整个反应器脱硝效率。

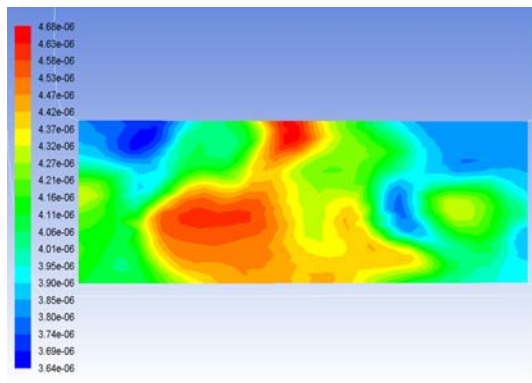


图 6 A 侧烟道出口测试点截面的氨浓度分布

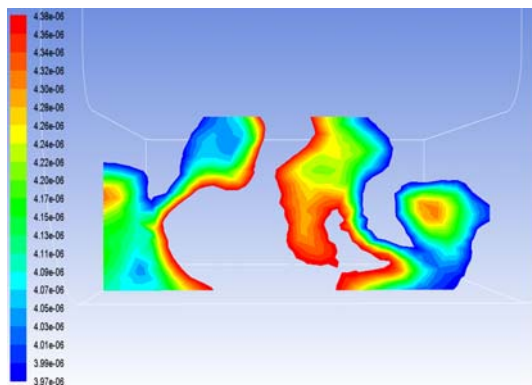


图 7 A 侧出口氨平均浓度 95%-105%分布

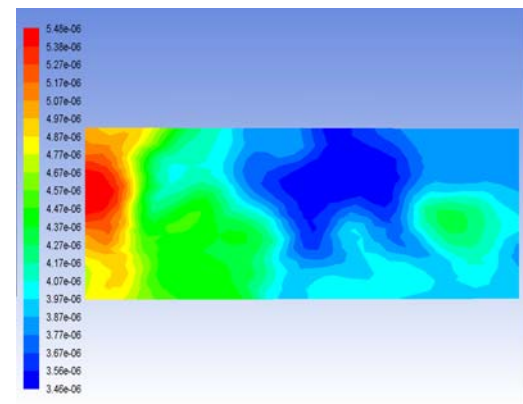


图 8 B 侧烟道出口测试点截面的氨浓度分布

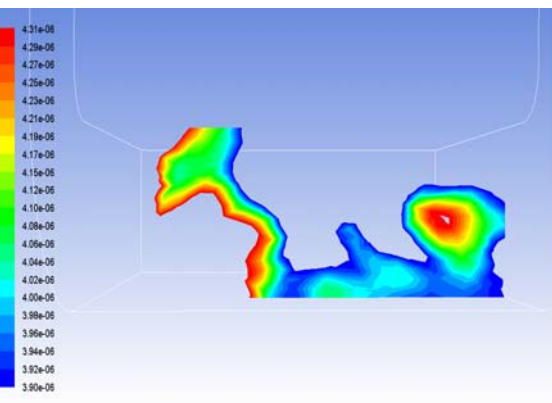


图 9 B 侧出口氨平均浓度 95%-105%分布

NH_3 浓度相对偏差 $C.V.=11.34\%$ 。从图 8 可以看出, 氨浓度在中间位置较高, 会导致中间位置的脱硝效率较低, 两侧的脱硝效率较高, 从而形成两侧 NO_x 浓度较低, 中间 NO_x 浓度较高的现象。图 9 为 B 侧烟道出口测试点截面氨平均浓度的 95%~105% 的区域, 在这些区域测得的 NO_x 脱硝效率可以代表整个反应器脱硝效率。

从以上可以看出, B 侧反应器的 NH_3 分布要比 A 侧更加不均匀, 现场测点的 NO_x 脱硝效率很难代表整个反应器的脱硝效率。

3 BMCR 烟气量喷氨阀门优化计算结果

3.1 第二层催化剂入口处截面的氨浓度分布

根据 CFD 分析结果和现场测试结果, 优化阀门开度。由于 A 侧 B 侧模型相同, 对称布置, 因此仅优化 B 侧喷氨阀门。图 10 为第二层催化剂入口处截面的氨浓度分布。

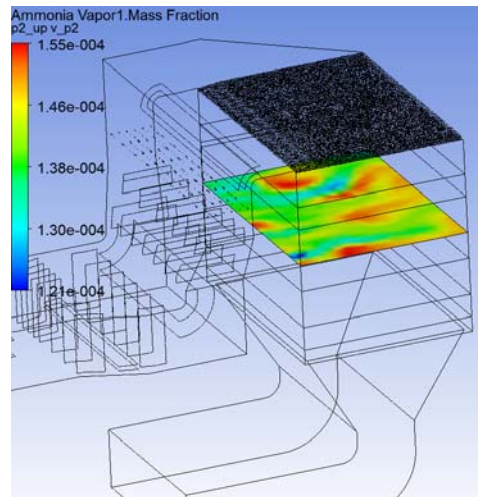


图 10 第二层催化剂入口处截面的氨浓度分布

第二层催化剂入口处 NH_3 平均浓度为: $4.04 \times 10^{-6} \text{ kmol/m}^3$

NH_3 浓度标准偏差: $1.93 \times 10^{-7} \text{ kmol/m}^3$

NH_3 浓度相对偏差:

$C.V.=1.93 \times 10^{-7} / 4.04 \times 10^{-6} = 4.78\% < 5\%$ (设计要求)

NH_3 浓度相对偏差 $C.V.=4.63\%$ 。从图 11 可以看出, 氨浓度分布较原始阀门开度要均匀得多。图 12 为优化阀门开度后烟道出口测试点截面氨平均浓度的 95%-105% 的区域, 在这些区域测得的 NO_x 脱硝效率可以代表整个反应器脱硝效率。这个区域面积明显要比原始阀门开度下大, 这说明在优化阀

门开度的情况下，绝大多数位置的测试数据都比较均匀。

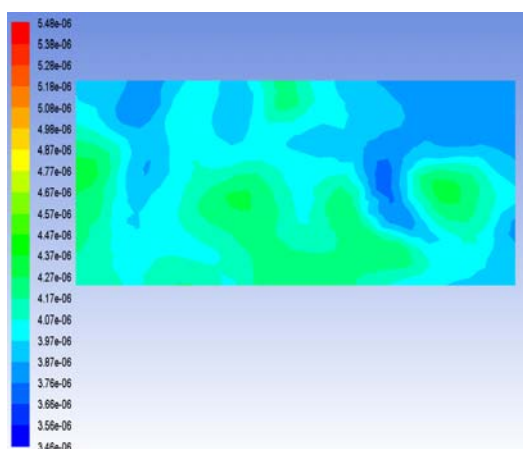


图 11 烟道出口测试点截面的氨浓度分布

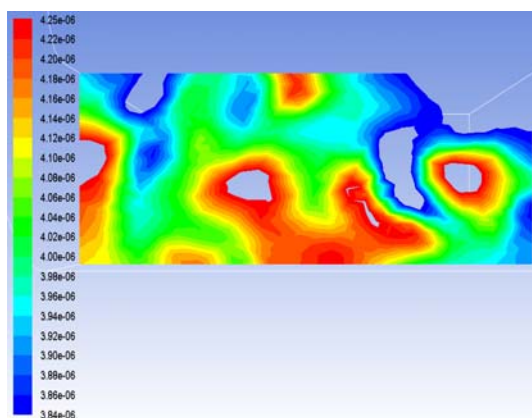


图 12 出口氨平均浓度 95%-105%分布

4 结论

(1) 利用数值模拟计算方法可以发现，由于喷氨格栅喷氨浓度与烟气 NO_x 浓度不匹配，导致进入第二层催化剂的 NH_3 浓度分布不均匀。最终导致各个部分的 NO_x 脱硝效率不一致，在反应器出口测点测得的脱硝效率很难代表整个反应器的脱硝效率。

(2) 通过优化喷氨阀门开度，可以使得进入第二层催化剂的 NH_3 浓度分布更加均匀，相对偏差 $<5\%$ ，达到设计要求，最终使得各个部分脱硝效率基本一致。在反应器出口测点测得的脱硝效率就可以代表整个反应器的脱硝效率。

(3) 数值模拟结果可靠，可应用于解决 SCR 脱硝反应器浓度偏差问题，达到将浓度偏差控制在误差范围内的目的。同时，数值模拟也可以用于 SCR 脱硝系统内部结构设计，优化反应器进出口烟道的烟气流场布置。

作者简介：

孙小花（1988—），女，湖南人，助理工程师，从事脱硫工艺设计工作，E-mail: kthbjs017@163.com。