

基于 SolidWorks Flow Simulation SCR 脱硝装置流场分析

安徽中杰 王坤

一、前言

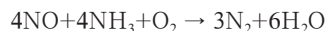
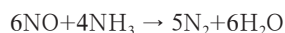
随着我国大气污染排放标准中 NO_x 排放限值调整为 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以及脱硝电价的实施,采用选择催化还原 (SCR) 技术的脱硝系统已成为多数电站锅炉的配套设施,脱硝系统可靠运行的重要性也日益凸显。

二、SCR 脱硝原理

选择性催化还原法 (Selective Catalytic Reduction, SCR) 是指在催化剂的作用下,利用还原剂 (如 NH_3) “有选择性”地与烟气中的 NO_x 反应并生成无毒无污染的 N_2 和 H_2O 。选择性是指在烟气脱硝过程中烟气脱硝催化剂有选择性地将 NO_x 还原为氮气,而烟气中的 SO_2 极少地被氧化成 SO_3 。这就叫选择性在不添加催化剂的条件下,氨与氮氧化物的化学反应温度为 900°C ,如果加入氨,部分氨会在高温下分解。如果加入催化剂,反应温度可以降低到 $320 \sim 400^\circ\text{C}$ 。催化剂一般选用 TiO_2 为基体的 V_2O_5 和 WO_3 混合物;具体配方根据烟气参数确定。

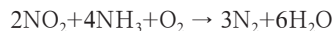
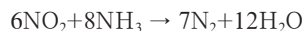
1. SCR 脱硝反应

SCR 脱硝系统是向催化剂上游的烟气中喷入氨气或其他合适的还原剂、利用催化剂将烟气中的 NO_x 转化为氮气和水。在通常的设计中,使用液态无水氨或氨水 (氨的水溶液),无论以何种形式使用氨,首先使氨蒸发,然后氨和稀释空气或烟气混合,最后利用喷氨格栅将其喷入 SCR 反应器上游的烟气中。在 SCR 反应器内,NO 通过以下反应被还原:



当烟气中有氧气时,反应第一式优先进行,因此,氨消耗量与 NO 还原量有一对一的关系。

在锅炉的烟气中, NO_2 一般约占总的 NO_x 浓度的 5%, NO_2 参与的反应如下:



上面两个反应表明还原 NO_2 比还原 NO 需要更多的氨。

在绝大多数锅炉的烟气中, NO_2 仅占 NO_x 总量的一小部分,因此 NO_2 的影响并不显著。

SCR 系统 NO_x 脱除效率通常很高,喷入到烟气中的氨几乎完全和 NO_x 反应。有一小部分氨不反应而是作为氨逃逸离开了反应器。一般来说,对于新的催化剂,氨逃逸量很低。但是,随着催化剂失活或者表面被飞灰覆盖或堵塞,氨逃逸量就会增加,为了维持需要的 NO_x 脱除率,就必须增加反应器中 NH_3/NO_x 摩尔比。当不能保证预先设定的脱硝效率和 (或) 氨逃逸量的性能标准时,就必须在反应器内添加或更换新的催化剂以恢复催化剂的活性和反应器性能。从新催化剂开始使用到被更换这段时间称为催化剂寿命。

2. SCR 系统组成及反应器布置

SCR 反应器在锅炉烟道中一般有三种不同的安装位置,即热段 / 高灰布置、热段 / 低灰和冷段布置。

(1) 热段 / 高灰布置: 反应器布置在空气预热器前温度为 350°C 左右的位置,此时烟气中所含有的全部飞灰

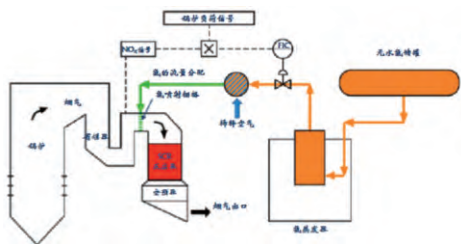
和 SO_2 均通过催化剂反应器，反应器的工作条件是在“不干净”的高尘烟气中。由于这种布置方案的烟气温度在 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 的范围内，适合于多数催化剂的反应温度，因而它被广泛采用。

(2) 热段 / 低灰布置：反应器布置在静电除尘器和空气预热器之间，这时，温度为 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 的烟气先经过电除尘器以后再进入催化剂反应器，这样可以防止烟气中的飞灰对催化剂的污染和将反应器磨损或堵塞，但烟气中的 SO_3 始终存在。采用这一方案的最大问题是，静电除尘器无法在 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 的温度下正常运行，因此很少采用。

(3) 冷段布置：反应器布置在烟气脱硫装置 (FGD) 之后，这样催化剂将完全工作在全尘、无 SO_2 的“干净”烟气中，由于不存在飞灰对反应器的堵塞及腐蚀问题，也不存在催化剂的污染和中毒问题，因此可以采用高活性的催化剂，减少了反应器的体积并使反应器布置紧凑。当催化剂在“干净”烟气中工作时，其使用寿命可达 $3 \sim 5$ 年（在“不干净”的烟气中的使用寿命为 $2 \sim 3$ 年）。这一布置方式的主要问题是，当将反应器布置在湿式 FGD 脱硫装置后，其排烟温度仅为 $50 \sim 60^\circ\text{C}$ ，因此，为使烟气在进入催化剂反应器之前达到所需要的反应温度，需要在烟道内加装燃油或燃烧天然气的燃烧器，或蒸汽加热的换热器以加热烟气，从而增加了能源消耗和运行费用。

对于一般燃油或燃煤锅炉，其 SCR 反应器多选择安装于锅炉省煤器与空气预热器之间，因为此区间的烟气温度刚好适合 SCR 脱硝还原反应，氨被喷射于省煤器与 SCR 反应器间烟道内的适当位置，使其与烟气充分混合后在反应器内与氮氧化物反应，SCR 系统商业运行业绩的脱硝效率约为 $70\% \sim 90\%$ 。

三、SCR 系统组成



SCR 系统的主要设备包括：(1) 反应器 / 催化剂系统，主要设备：反应器、催化剂、吹灰器。(2) 烟气 / 氨的混

合系统，主要设备：稀释风机、静态混合器、氨喷射格栅 (AIG)、空气 / 氨混合器。(3) 氨的储备与供应系统，主要设备：卸料压缩机、氨蒸发器 (电 / 蒸汽)、氨罐、缓冲罐、稀释槽。(4) 烟道系统，主要设备：挡板 (有旁路)、膨胀节、导流板、烟道。(5) SCR 的控制系统，主要设备：DCS、PLC、仪表和盘柜等。

四、SCR 脱硝装置流场的数值模拟

SCR 装置中气流场均匀分布对催化反应有着十分重要的影响，因此需要修改导流板位置，不断地优化气流场分布的均匀，为提高工作效率采用 SolidWorks Flow Simulation 作为分析工具。

烟道口的空气入口边界条件为 5m/s 。为了提高真实性，SCR 模型采用 $1:1$ 的结构比例。结构图如图 1 所示。

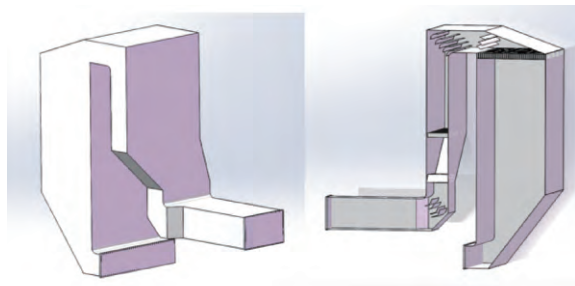


图 1

五、Solidworks Flow Simulation 中操作过程

(1) 设置分析向导，在向导中设置 CFD 分析的单位，流体材料的选择，以及相关流域的设定，如图 2 所示。

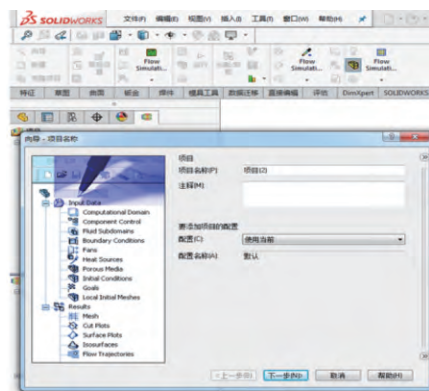


图 2

(2) 边界条件的设置，可设定速度入口、质量流入口、出口速度等等，可根据需要设定，这里设定速度入口为 5m/s ，

出口定义为压力出口，默认环境压力，如图 3 所示。

(3) 定义收敛目标，如图 4 所示。

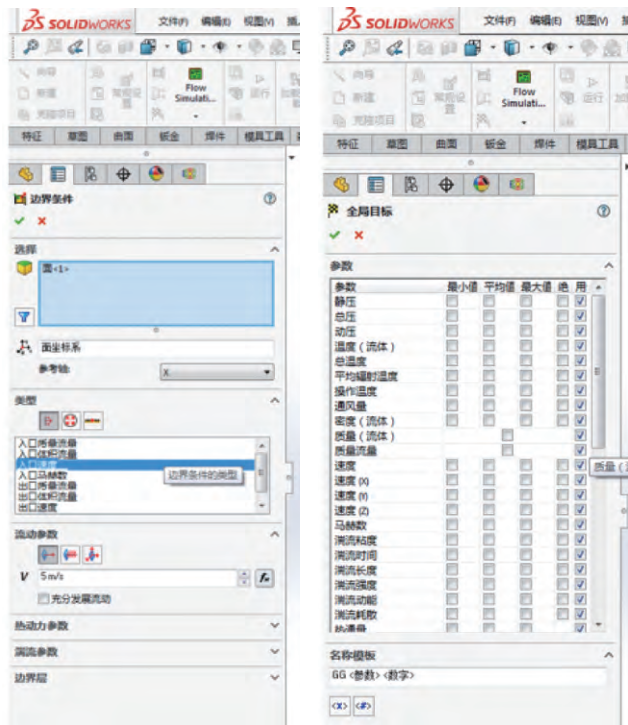


图 3

图 4

(4) 网格划分，网格可智能划分，也可以根据需要进行手动划分，如图 5 所示。

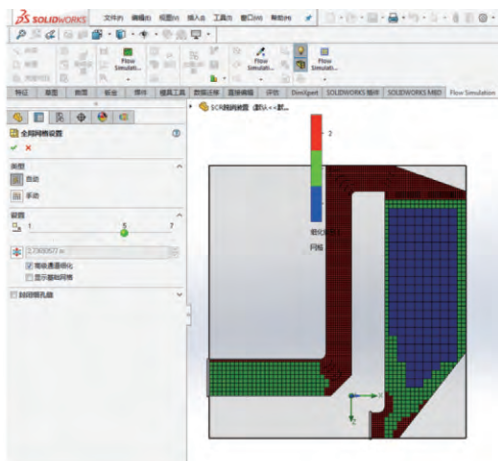


图 5

(5) 计算求解，如图 6 所示。

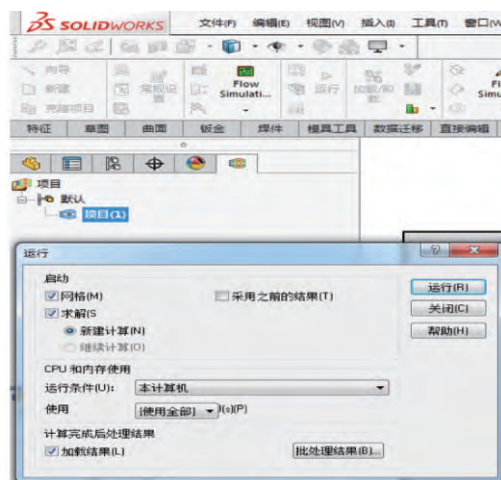


图 1

六、SolidWorks Flow Simulation 优化结果

经过大量的调整导流板的位置得到最终的优化结果，如下图所示 SCR 脱硝装置的气流场速度分析分布。如图 7 所示为气流场速度分布图。

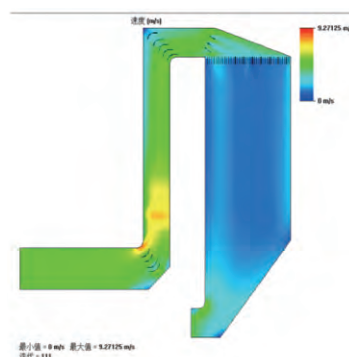


图 7

七、结语

针对 SCR 脱硝装置气流场均匀性分布，SolidWorks Flow Simulation 有着高效的工作效率，在较短的时间内可以完成气流场均匀性的分布。