

基于 CFD 计算的净烟气烟道内烟气流量测点的选择

邹 磊, 岳峻峰, 宁新宇, 梁绍华, 张恩先, 黄 磊

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要: 针对火电厂脱硫系统后净烟气烟道内烟气流量及污染物排放测量准确性较差的问题, 采用计算流体力学 (CFD) 软件对其脱硫系统后净烟气烟道内流场进行了数值模拟, 分析了不同烟气流量下烟道内的流场分布特性。计算结果显示, 烟气流量的变化对烟道内的速度分布影响不大; 下部烟道速度分布相对较均匀, 速度最均匀的区域出现在该段的中部水平烟道区域; 上部水平弯曲烟道内烟气经历 3 次转向, 在烟道垂直和水平方向的速度分布都不均匀, 随意布置的流量测点无法合理反映实际流量。计算结果为合理布置烟气流量测点提供了参考和依据。

关键词: 净烟气; 流量测量; 数值模拟

0 引言

火力发电厂烟气排放流量是环保监测的重要数据^[1], 烟气在线监测设备大多安装在烟囱前的烟道上。由于烟道内烟气流场复杂, 随意布置的流量测点无法合理反映实际流量, 烟气流量的测量精度无法达到规范要求。燃煤机组改建脱硫工程后, 由于场地空间限制, 脱硫系统后净烟气通往烟囱的烟道较短, 且存在多处拐角, 这些均给烟气流量测点的安装带来了困难。由于测点安装位置不当, 在线监测设备监测到的流量值往往波动较大、精度较低, 有的甚至出现较长时间无流量值的情况, 而且在不同工况下, 由于烟气量的不同, 相同位置的流场分布也可能会发生改变。目前, 火电厂普遍存在由于烟气流量测点安装位置不当造成测量值准确性差的问题。本文以某燃煤电厂脱硫系统后净烟气烟道为研究对象, 采用计算流体力学 (CFD) 软件数值模拟了不同烟气量工况下净烟气烟道内流场分布, 给出了合理安装烟气流量测点的建议。

1 计算模型

数值计算的物理模型采用实际的净烟气烟道的结构数据, 计算区域为从脱硫系统的 GGH 出口连接到烟囱烟道连接处的净烟气烟道的连接面, 计算模型如图 1 所示。

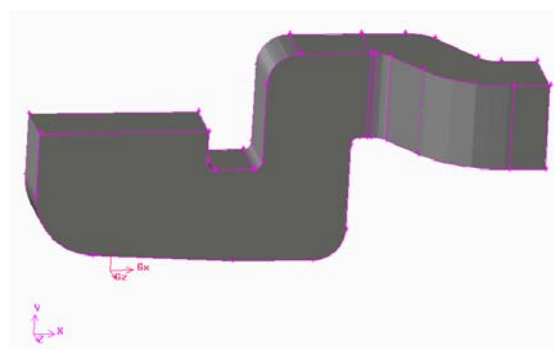


图 1 净烟气烟道流场计算区域示意图

计算模型采用烟道的实际结构尺寸, 其中的坐标轴为: X 向基本为烟气的主流方向, 零点设定在 GGH 出口烟道的轴线处; Y 向为高度方向, 坐标值采用工程实际标高数值; Z 向为烟道的深度方向, 零点设定在下部水平烟道的轴线位置。

采用 k-epsilon 双方程湍流模型来模拟烟道内气相湍流流动, 其控制方程包括连续性方程、动量方程、能量方程、k 方程、epsilon 方程。若不考虑热交换的单纯流场问题, 则不需要包含能量方程^[2]。上述控制方程可表示为如下通用形式:

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

在三维直角坐标系下, k-epsilon 双方程模型的控制方程如下:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\phi)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w\phi)}{\partial z} \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial z} \right) + S \end{aligned} \quad (2)$$

在以上两式中 ϕ 代表待求解的物理量, Γ 为扩散系数, $div(\rho V \phi)$ 为对流项, $div(\Gamma grad \phi)$ 为扩散项, S 源项。对于特定意义的 ϕ , 具有特定的量 Γ 和 S 。在通用形式方程中, 当 ϕ 分别为 1, $U(u, v, w)$, k , ϵ 时, 分别对应连续性方程, 动量方程, k 方程和 ϵ 方程。

烟气流量按照设计烟气量 $1012604 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 和 50% 设计烟气量共进行了 2 个工况条件的数值计算, 烟气温度按照设计值 80°C 计算。入口采用流量边界条件, 出口采用压力边界条件, 压力按照设计值给定, 设定烟气流动与壁面无滑移且壁面按绝热处理。收敛残差标准设定为 10^{-4} 。为简化计算, 视烟气为单一气体, 不考虑不同烟气成分对计算结果的影响。

2 数值计算结果

2.1 净烟气烟道内流场特性分析

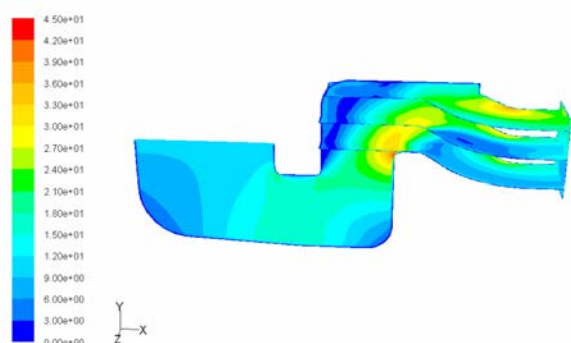


图 2 设计烟气流量工况下烟道流场速度分布立体图

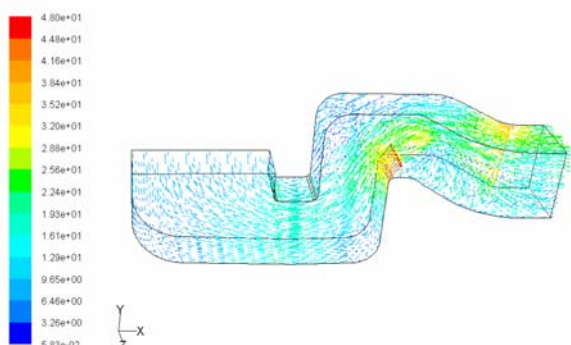


图 3 烟道流场速度矢量分布图

图 2 和图 3 给出了净烟气烟道在 100% 设计烟气量工况下的流场分布。其中, 图 2 为烟道流场速度分布立体图, 以下部水平烟道轴线垂直面和上部水平弯曲烟道的三个不同标高水平面上的速度分布来反映整个烟道内的速度分布情况; 图 3 为净烟气

烟道内流场速度矢量分布图。

从图 2 和图 3 可以看出, 烟道内的速度场整体情况为: GGH 后烟道下行转弯进入水平段后, 烟气速度趋于均匀; 烟气继续流动经水平转弯后, 在上行过程中, 除弯头局部出现低速区域外, 速度也较均匀; 但在烟气再转水平流动时, 由于垂直转弯和为适应烟囱布置的烟道水平弯曲的存在, 导致这水平转弯烟道开始前的上部转弯区(图 2、3 中的左上角)出现一个低速回流涡流区; 此后由于烟道的两个连续转弯和上部水平弯曲烟道的尺寸较短, 导致整个上部水平烟道内速度分布严重不均匀。

图 4~6 给出了净烟气烟道局部截面上速度分布情况。其中, 图 4 为下部烟道轴线垂直面 ($Z=0$) 上的速度分布, 本文中所指的下部烟道包括 GGH 后下行烟道、转弯、水平烟道及进一步转弯后的上行烟道; 图 5 为上部水平弯曲烟道轴线水平面 (标高 $Y=12000 \text{ mm}$) 上的速度分布, 对应下部烟道, 本文中所指的上部水平弯曲烟道主要是指下部上行烟道转水平后的、为适应烟囱位置的水平弯曲烟道; 图 6 则为 $X=7200 \text{ mm}$ 、 $X=11526 \text{ mm}$ 处垂直 X 轴的截面上和烟道出口垂直面上的速度分布, 以反映烟道在 Z 向上速度分布的均匀性。

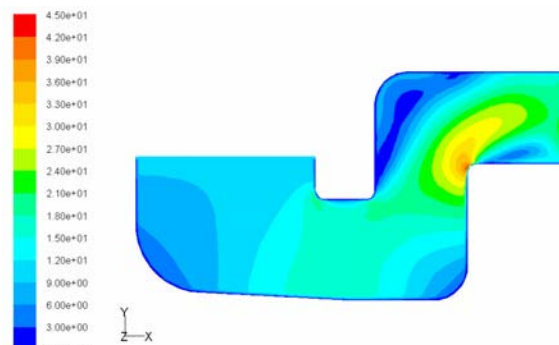


图 4 下部烟道轴线垂直面 ($Z=0$) 上的速度分布

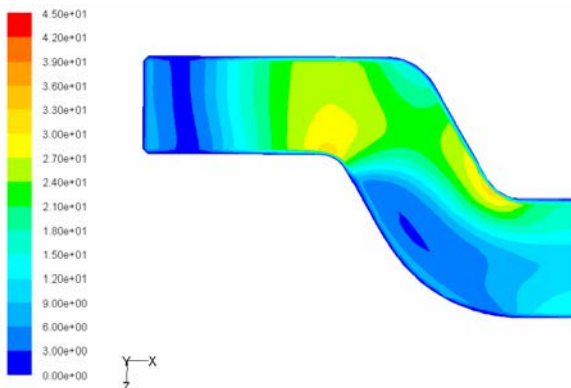


图 5 上部水平转弯烟道轴线水平面 ($Y=12000 \text{ mm}$) 上的速度分布

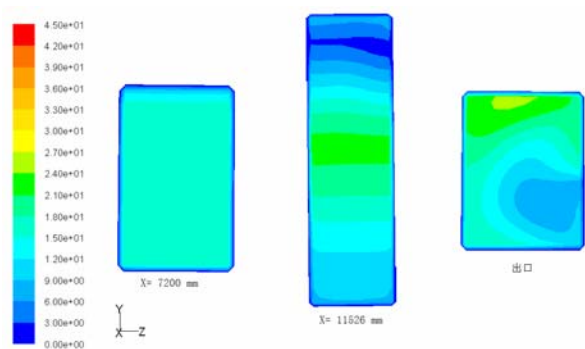


图 6 X= 7200 mm、X= 11526 mm 处垂直截面上和烟道出口的速度分布

从图 4 和图 5 可以看出，在弯曲烟道内侧、上部出现高速区，而外侧、下部出现低速区。从图 6 可以看出，为了适应烟囱的布置，通往烟囱的弯曲烟道尺寸较短，从而导致这种不均匀分布一直延续到出口面。对于下部烟道及其后转弯上行烟道，烟气速度分布基本是均匀的。

分析 100% 设计烟气量工况下的流场分布可知，净烟气烟道下部速度分布较均匀，速度最均匀的区域出现在该段的中部水平烟道区域，在该区域内烟气速度变化较小，在 15–18m/s 范围内；上部水平弯曲烟道内烟气经历 3 次转向后，在烟道垂直截面上的速度分布严重不均；烟道中各弯头的圆弧过渡处都不同程度的出现了局部低速或高速区。

2.2 不同烟气量对烟道内速度分布的影响

为了反映不同烟气量对净烟气烟道内流场分布的影响，本文对 50% 设计烟气量工况下烟道内流场进行数值模拟。图 7 给出了该工况下烟道流场速度分布立体图，为与图 2 进行对照比较，图 7 同样给出下部水平烟道轴线垂直面和上部水平弯曲烟道的三个不同标高水平面上的速度分布情况。

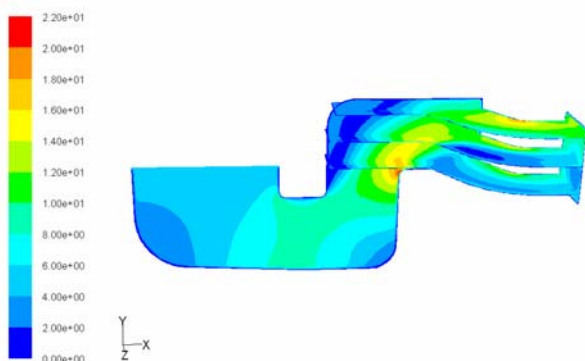


图 7 50%设计烟气流量工况下烟道流场速度分布立体图

对于 50% 设计烟气流量的计算工况，计算结果显示，除速度的数值外，计算得到的烟道内速度分布总体上与设计烟气流量工况（图 2）几乎一致，可以看出，烟气流量的变化对烟道内的速度分布影响很小。

3 结论

(1) 下部烟道速度分布相对较均匀，速度最均匀的区域出现在该段的中部水平烟道区域；上部水平弯曲烟道内烟气经历 3 次转向，在烟道垂直和水平方向的速度分布都不均匀。

(2) 烟气流量的变化对烟道内的速度分布影响不大，烟气流量从设计流量减少 50%，除速度数值外，烟道内的速度分布几乎一致。

(3) 通过对某电厂脱硫后净烟气烟道内流场的数值计算分析发现，在该烟道下部水平段中部安装烟气流量测点相对较好。

(4) 通过数值模拟计算结果可以合理选择烟气流量测点，从而提高烟气流量测量精度。

参考文献：

- [1] 王万林,齐小娟.火电厂烟气排放流量测量方法研究[J].浙江电力,2009(6):17-19.
- [2] 王福军.计算流体动力学分析 CFD 软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

作者简介：

邹磊（1985—），男，湖北黄冈人，硕士，工程师，从事电站锅炉性能试验和计算机数值模拟的研究，E-mail: zoulei0128@163.com。