

600 M W 机组烟道系统数值模拟分析及改造

马国伟¹, 刘 成¹, 王新良¹, 柳 磊¹, 苏建宁², 田义有²

(1. 国电科学技术研究院, 宁夏 银川 750011;

2. 华电宁夏灵武发电有限责任公司, 宁夏 灵武 750045)

摘 要: 针对某火力发电厂锅炉尾部烟道衔接处产生涡流、旋流等问题,利用数值模拟的方法对烟道系统内气流分布进行模拟计算,找出烟道内烟气流场不均匀的原因,确定缺陷位置,对烟道进行优化改造。改造结果表明:各分支烟气流场趋于均匀,烟道内涡流和旋转烟气流区域明显减小,达到了预期目的。

关键词: 烟道系统; 数值模拟; 计算流体动力学(CFD)

中图分类号: TK22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3643(2015)03-0061-04

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2015.03.013>

Numerical simulation analysis and retrofit for boiler flue system of 600 M W generating set

MA Guowei¹, LIU Cheng¹, WANG Xinliang¹, LIU Lei¹, SU Jianning², TIAN Yiyong²

(1. State Power Science and Technology Research Institute, Yinchuan Ningxia 750011, China;

2. Huadian Group Ningxia Lingwu Power Generation Co., Ltd., Lingwu Ningxia 750045, China)

Abstract: Aiming at the problem of vortex flow and swirl flow appearing at the boiler flue connecting part in a thermal power plant, using the numerical simulation method, simulates and calculates the airflow distribution in flue system, finds out the reason of uneven airflow in the flue, determines the defect place, optimizes and retrofits the flue. The retrofit result shows that the each branch airflow tend to uniform, vortex and bias flow sections obviously reduce, achieves the expected object.

Key words: flue system; numerical simulation; computational fluid dynamics(CFD)

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2015.03.013

某公司 2×600 M W 空冷机组 1 号、2 号锅炉为亚临界压力一次中间再热控制循环汽包炉,由上海锅炉厂有限公司设计和制造,型号为 SG2059/

17.5-M915。锅炉采用摆动式燃烧器调温,四角布置、切向燃烧,正压直吹式制粉系统、单炉膛、II 型紧身封闭布置、固态排渣、全钢架结构、平衡通风。

收稿日期:2015-03-20

作者简介:马国伟(1986),男,工程师,现从事电站锅炉试验研究、技术监督与服务及检验、调试工作。

锅炉烟气系统的流程为：炉膛出口→水平烟道受热面→竖井烟道受热面→空预器进口挡板门→空预器→空预器出口挡板门→电除尘。每台锅炉设置 2 台三分仓容克式空气预热器，配置 2 台双室四电场电除尘器。

运行中发现，锅炉尾部烟道在空预器出口至除尘器入口以及除尘器出口至引风机入口段，烟道系统相互衔接尺寸不匹配，烟道布置左右不对称，引起两侧烟气阻力偏差大、流量不均匀，在烟道衔接处产生涡流、旋流等问题。为了解决该问题，经技术分析，决定采用 FLUENT 软件^[1]进行烟道系统气流分布的数值模拟，找出烟道内烟气流量不均匀的原因，确定缺陷位置，对烟道进行优化改造。

1 数值方法与计算模型

1.1 数值方法

计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)^[2]是通过计算机数值计算和图像显示，对包含有流体流动和热传导等相关物理现象的系统进行分析。CFD 的基本思想可以归纳为：把原来在时间域及空间域上连续的物理量的场，如速度场和压力场，用一系列有限个离散点上的变量值的集合来代替，通过一定的原则和方式建立起关于这些离散点上场变量之间关系的代数方程组，然后求解代数方程组获得场变量的近似值。通过这种数值模拟，可以得到极其复杂问题的流场内各个位置的基本物理量（如速度、压力、温度、浓度等）的分布，以及这些物理量随时间的变化情况，确定漩涡分布特性、空化特性及脱流区等。本文基于以上的原理对烟道系统进行数值模拟及分析。

1.2 计算模型

采用 FLUENT 软件进行烟道系统气流分布的数值模拟，包括进口烟道、进口喇叭、电场内部、出口喇叭，按竣工图的尺寸 1:1 建立三维几何模型（未考虑除尘器的灰斗部分），范围为从空预器出口经除尘器至引风机入口。

1.2.1 模型假设与简化

根据现场实际的运行环境，在满足工程技术要求^[3]的前提下，为方便模拟计算，对该烟道作以

下假设和简化：

- (1) 计算模型不包括空预器及增压风机；
- (2) 假设空预器出口烟气速度分布均匀；
- (3) 在 CFD 模型中忽略内支撑杆等一些对流场影响较小的内部构造。

1.2.2 边界条件

基于前面的简化和假设，流体选择烟气，密度取定值 0.75 kg/m^3 ，粘性系数取值 $2.4 \times (10 \sim 5) \text{ m}^2/\text{s}$ 。空预器出口截面设置为速度入口边界，根据平均烟气流量 $540 \text{ m}^3/\text{s}$ 设置进口平均速度为 18.7 m/s ，温度取 140°C 。将压力出口定为出口边界条件，取大气压力，烟道壁面视为绝热壁面。引风机入口设置为压力出口边界，根据分散控制系统(Distributed Control System, DCS)数据取静压为 -3 kPa 。对于除尘器部分，依据实际情况，仅将入口扩张段(喇叭口)设置为多孔介质，模拟喇叭口内的均风板，后面部分作为烟道处理。取除尘器入口段均风板阻力为 80 Pa ，计算得出多孔介质部分流动方向上的惯性阻力系数 $C_2=1.5$ ，垂流动方向上的惯性阻力系数取 $C_1=C_3=0.5$ ；均风板沿流动方向的渗透率取 $\alpha_2=100$ ，垂流动方向的渗透率取 $\alpha_1=\alpha_3=1000$ 。

1.2.3 网格划分

网格划分整体采用 MAP 划分方案^[4]，烟道部分网格间距 0.4 m ，除尘器主体部分网格间距 1 m ，总网格数为 55 854，如图 1 所示。

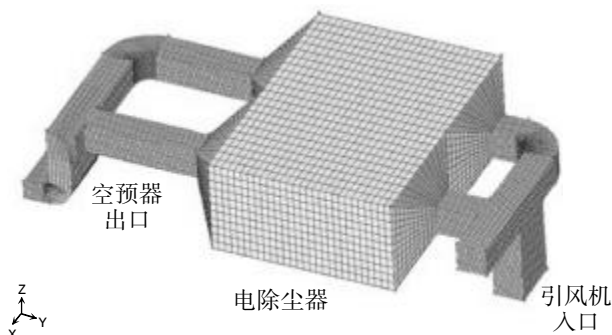


图 1 烟道几何模型及网格划分

2 计算结果

通过计算流体力学方法求解，可以得到在原有的烟道结构内烟气的速度分布。求解时采用压力基求解器^[5]，隐式耦合方式^[6]和 $k-\varepsilon$ 湍流模型求

解流动和湍流方程^[7-8],迭代在 10^{-3} 精度下达到收敛,得到如图 2 所示的除尘器前烟气三维流场。图 2 中左边带状图至下而上表示速度逐渐增加,右边模拟图为烟道系统内烟气的整体分布(图 3、图 4、图 5、图 7 表示方式相同)。总的来看,空预器出口烟气上冲后直接拐弯进入 B1 烟道,造成 B1 烟道入口上部烟气流速较高,下部流速较低,即呈现出上层密度大,下层密度小的不均匀分布,造成该分布状态的原因与烟道进口处气流流速分布有关。在烟气系统转弯处和变截面处,存在较大的速度偏差,其出口截面的速度亦不均匀,存在较大的压损,同时也有较严重的涡流现象。

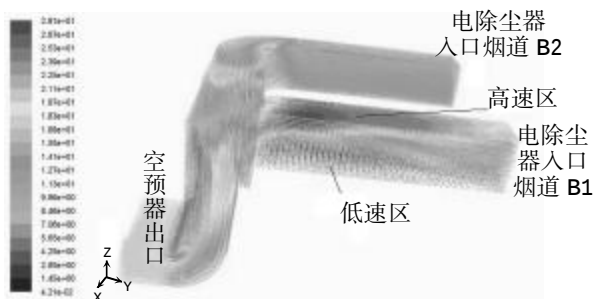


图 2 除尘器前烟气三维流场

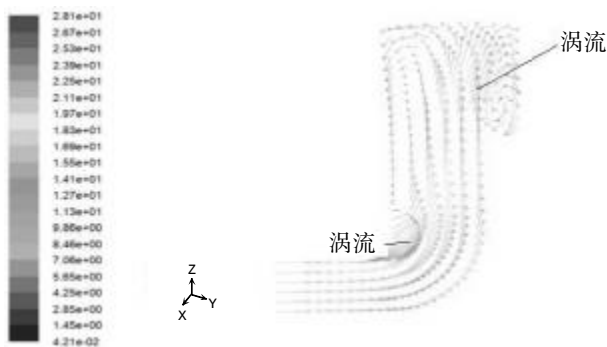


图 3 空预器出口烟气流场剖面

由图 3 可见,烟气从空预器出口烟道进入水平连接烟道时分别在右下角和左上角形成涡流,同时由于 B1 烟道入口和空预器出口烟道较为直对,流体流经 B1 列的总体线路较短,B1 烟道入口烟气流速整体大于 B2 烟道,两者平均流速分别为 14.81 m/s 和 11.56 m/s,呈明显的速度不均匀状态。

由图 4 可知,在电除尘出口,来自 B1、B2 的烟气冲撞后向下流向引风机,在 B1 烟道出口和水平连接烟道交汇处形成较大的涡流。引风机入口段,烟气螺旋下降并产生一定的旋转烟气流(见图 5),

不利于引风机正常运行。

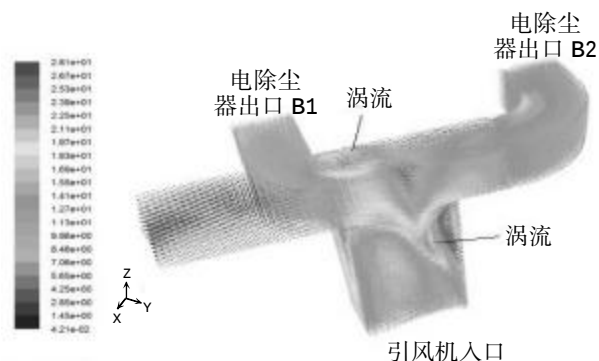


图 4 除尘器出口烟道汇流三通处烟气流场

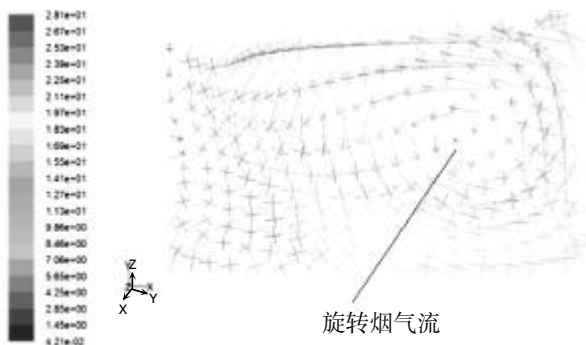


图 5 引风机入口烟道横截面上流场形成旋转烟气流

3 烟道优化改造

为解决该段烟道气流分布不均匀,阻力大等问题,有必要对该烟道系统进行优化改造。优化改造主要考虑以下几个问题:

- (1)使进入电除尘器两室烟气流量分布均匀;
- (2)改善烟道内部流场,解决烟气局部产生的涡流和旋转烟气流问题;
- (3)降低整个烟道系统的阻力;
- (4)尽量减少改造工作量,保证除尘器入口、空预器出口空间位置不变。

根据烟气数值模拟的结果,在烟道入口和垂直烟道上布置导流板以改善烟气流场的均匀性^[9-10],导流板布置如图 6 所示。

图 7 给出了经过 CFD 计算机数值模拟得到的设置弧形导流板后烟道内部的速度云图,从图 7 可以看出,优化后,导流板的导向作用比较好,基本无旁路支流。两分支烟道平均烟气流速分别为 13.52 m/s 和 13.95 m/s,截面的速度分布比较均匀,两个分支烟道流场的均匀性得到了较大改善。

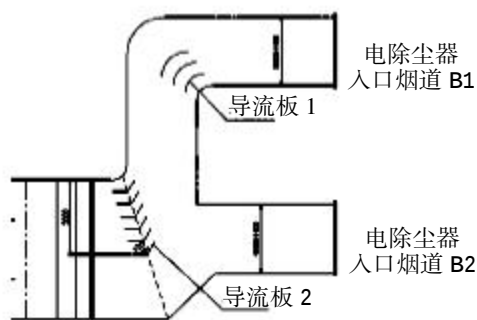


图 6 烟道内导流板布置

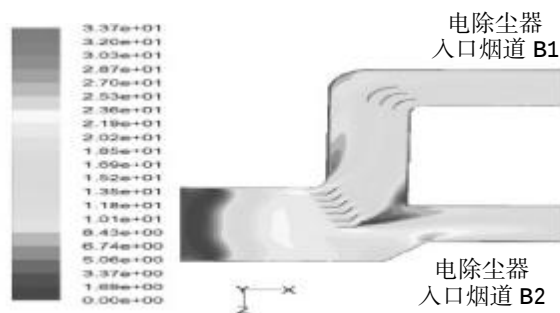


图 7 设置导流板后烟道内部速度云图

4 结论

(1) 本文提出的数值模拟分析方法以计算流体力学为工具,通过合理建模,设置边界条件和计算参数,准确地描述烟道内部的烟气流场,为后期优化改造提供可靠依据。

(2) 数值模拟分析表明,烟道系统存在较大的不合理性,各分支烟道流量分配不均匀,在烟道系

统 T 型接头处存在涡流,整个系统阻力偏大。

(3) 烟道系统优化改造使各分支烟道烟气流场趋于均匀,烟道内旋涡和偏流区域明显减小,达到了预期目的。

(4) 烟道系统优化改造后的良好效果,进一步验证了数值模拟的准确性。因此,数值模拟的结果具有指导烟道系统设计和优化改造的价值。

参考文献:

- [1] 李勇.介绍计算流体力学通用软件-Fluent[J].水动力研究与进展,2001,16(2):255-256.
- [2] 韩占忠,王敬,兰小平.FLUENT:流体工程仿真计算实例与应用.北京:北京理工大学出版社,2004.6:16-22.
- [3] 岑可法,周昊,池作和.大型电站锅炉安全及优化运行技术.北京:中国电力出版社,2002,1-27.
- [4] 王福军.计算流体力学分析-CFD 软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004,132-137.
- [5] 岑可法,樊建人.工程气固多相流动的理论及计算[M].杭州:浙江大学出版社,1990.
- [6] 姜述杰.引风机后汇流烟道系统数值模拟分析[J].锅炉制造,2013(11):13-16.
- [7] 陶文铨.数值传热学[M].西安:西安交通大学,1999.
- [8] 姚征.CFD 通用软件综述[J].上海:上海理工大学学报,2002,24(2):138-140.
- [9] 唐永恒.锅炉尾部烟道改造前后结果分析[J].广东电力,2001,14(3):74-76.
- [10] 李江波,贾绍广.600 MW 空冷机组锅炉烟风道优化设计分析[J].河北电力技术,2010,29(5):7-9.

科技论文摘要的编写要点

摘要科技论文的重要组成部分,是以提供文献内容梗概为目的,不加评论和解释,简明、确切地记述文献重要内容的短文。摘要应具有独立性和自明性,并拥有与文献同等量的主要信息,即不阅读全文,就能获得必要的论文信息。根据国家标准“GB 6447—86 文摘编写规则”及《科技书刊标准化18讲》有关规定及要求,科技论文摘要的编写要点如下:

(1) 摘要编写应具有4个要素(论文的目的、方法、结果、结论)。目的:研究、研制、调查等的前提、目的、所涉及的主题范围;方法:所用的原理、理论、条件、对象、材料、工艺、结构、手段、装备、程序等;结果:实验、研究的结果、数据、被确定的关系,观察得到的效果、性能等;结论:结果的分析、研究、比较、应用,提出的问题等。

(2) 摘要编写应内容充实,中文摘要一般在150~300

字之间,英文摘要应在150个词左右。

(3) 摘要应尽可能取消或减少课题研究的背景信息。

(4) 出现的数据应是最重要、最关键的数据。

(5) 缩略语、略称、代号等在首次出现时必须加以定义,写出中、英文全称;不得简单重复题名中已有的信息。

(6) 一般不列数学公式,不出现插图、表格。

(7) 不用引文,除非该文献证实或否定了他人已出版的著作。

(8) 摘要用第三人称编写。建议采用“对……进行了研究”、“报告了……现状”、“进行了……调查”等表述方法表明一次文献的性质和文献主题,不要使用“本文”、“作者”等作为主语。