DOI: 10.3969/j.issn.1006 - 4729.2016.01.003

脱硫塔流场的数值模拟

马昕霞[1], 李永光[1], 周世清[2], 张丽华[1]

(1. 上海电力学院, 上海 200090; 2. 上海三卿环保科技有限公司, 上海 200120)

摘 要:以湿法脱硫塔为研究对象,以紊流模型及颗粒轨道模型为理论基础,利用 FLUENT 软件计算了脱硫塔内的三维流场. 从计算结果来看,脱硫塔塔形、烟气进口形式、脱硫层布置形式等对脱硫塔内的流场都有较大的影响.

关键词:烟气脱硫; 脱硫塔; 数值模拟; 流场

中图分类号:X701.3 **文献标志码**:A **文章编号**: 1006 - 4729(2016)01 - 0009 - 03

Numerical Simulation of Flow Field for Desulfurization Tower

MA Xinxia[1], LI Yongguang[1], ZHOU Shiqing[2], ZHANG Lihua[1]

(1. *Shanghai University of Electric Power*, *Shanghai* 200090, *China*;
2. *Shanghai Sanqing Environmental Protection Technology Co.*, *Ltd.*, *Shanghai* 200120, *China*)

Abstract: On the theoretical basis of turbulence model and the particle trajectory model, the wet desulphurization spray tower is studied. Three-dimensional flow field in the desulphurization tower is calculated with the finite volume method and staggered grids. It can be seen that the shape of the desulfurization tower, the form of the inlet gas, the layout of the desulfurization layer and so on have a great influence on the flow field of the tower.

Key words: flue gas desulphurization; desulphurization tower; numerical simulation; flow field

我国是一个以煤炭为主要能源的国家,煤炭一直占我国能源生产和消耗的70%以上,随着经济的快速发展,煤炭消耗量不断增长,二氧化硫的排放量也随之增大. 二氧化硫是引起大气污染的主要气态污染物,其数量大、影响面广,治理难度也最大. 目前,湿法烟气脱硫工艺是我国和世界各国烟气脱硫的首选工艺,其核心装置为脱硫吸收塔. 然而,脱硫塔设计的合理与否将直接影响脱硫效果,因此成为国内外学者研究的热点. 李荫堂等人[1]提出在烟气脱硫喷淋塔烟气进口设置导流板或采用切向进口,塔体为圆柱形. 王青宁等人[2]采用氧化锌作为脱硫剂,进行了脱除硫化氢的实验研究. KIKKAWA Hirofumi[3]在喷淋塔内使用粒状石灰石做脱硫剂进行了试验研究. 杨忠国等人[4]利用 CFD 软件对移动床内的 SO_3 浓度场、烟气速度场和压力场进行了模拟计算,研究了烟气入口速度、烟气入口 SO_2 浓度等因素对脱硫效率的影响.

本文以某造纸厂建造的一套冷凝式烟气脱硫系统中的脱硫塔为研究对象,该脱硫系统用于处理该厂蒸发量为 4 t/h 的燃煤锅炉所产生的烟气.

收稿日期: 2015 - 09 - 09

通讯作者简介:马昕霞(1973 -),博士,讲师,河北石家庄人. 主要研究方向为汽液两相流体的换热,以及火电厂的节能等. E-mail:maxinxia@shiep.edu.cn.

原脱硫塔烟气经除尘器后进入管式烟硫塔流出后进入管式烟气换热器,与较高温度的原烟气换热升温后经烟囱排放. 系统原有的脱硫塔在实际投运后发现不足以处理锅炉产生的烟气,主要存在的问题有:脱硫塔烟气入口面积较小,且圆柱形入口导致烟气集中进入塔体,不利于烟气扩容;烟气入口为水平方向,易引起烟气贴壁运动;塔内烟气速度过大,且分布不均匀;有喷淋时烟气流场虽有所改善,但烟气到达喷淋层时分布尚不均匀,喷淋层布置偏少.

针对以上问题,本文提出了合理的优化措施,对原脱硫塔进行了优化设计. 利用 Fluent 软件对原脱硫塔及优化设计后的脱硫塔塔内流场分别进行数值模拟,并将模拟结果进行比较,得出了更为合理的塔形.

1 脱硫塔的优化设计

针对目前脱硫塔存在的问题,做以下改进:采用宽大的矩形烟气入口,以使烟气低速分散进入塔体;设计烟气进口与水平成 10°,减少烟气贴壁流动;增大塔体直径,降低塔内烟气流速;增高塔体高度,使烟气在塔内充分扩容,均匀分布;增加气液接触时间,喷淋层数增加为 3 层,分别在 1 m,1.5 m,2 m 高处设置喷淋层,每层设 5 个喷嘴,且每层喷嘴相差 30°. 表 1 给出了脱硫塔的基本参数.

表 1 脱硫塔基本参数

脱硫塔	烟气量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	烟气入口温度/℃	塔体尺寸直径×高/(m×m)	喷淋层/层	烟气入口	烟气出口	液滴初始粒径/mm
系统原有	9 000	160	0.8×1.5	1	水平进入	向上	1
改进后	9 000	160	1.2×2.5	3	下倾 10°	水平	1

2 流场模拟与实验验证

2.1 物理原型

选取冷凝式脱硫塔作为数值计算的物理原型,并在数值计算时对物理原型的计算区域稍作改进. 仅以水池以上的烟气扩容区域直至烟气出口作为研究区域,并认为塔内各构件(喷淋管、喷嘴等)对流场的影响可以忽略. 应用 Fluent 商用软件分别对优化设计后的脱硫塔塔内气液两相流动情况有、无喷淋的两种工况进行数值模拟,并通过实验对模拟结果进行验证.

2.2 基本假设及网格划分

2.2.1 基本假设

为方便塔内气液两相流流场的模拟计算,使塔内的运动状况得以简化,做以下假设:

(1) 将烟气视为不可压缩粘性流体,忽略其温度变化对密度的影响;

(2) 假定脱硫塔绝热,烟气与喷淋液滴进行对流换热;

(3) 忽略塔内喷嘴、脱硫喷淋母管、支管等构件对传热及流动的影响;

(4) 颗粒初始速度均匀分布;

(5) 脱硫剂液滴碰壁后贴壁流下,不再对气相造成影响;

(6) 气相作为连续相考虑,液相作为离散相考虑.

2.2.2 网格划分

利用 Fluent 软件对脱硫塔流场进行三维数值计算. 选择 k-ε 模型、隐式差分格式以及 Simple 算法进行计算. 将优化设计后的脱硫塔作为计算对象,采用前处理 Gambit 软件建模,其中烟气进口附近为非结构化网格,塔体上部为六面体网格,脱硫塔划分为六面体网格.

2.3 流场模拟计算结果

2.3.1 无喷淋情况下的数值模拟

图 1 给出了无喷淋时塔内的烟气速度分布. 由图 1 可看出,烟气由下倾进口进入塔内后并未直冲右侧塔壁,而是较早地偏折向上流动,烟气直流区域已占据塔体一半的空间,有效地减少了烟气的贴壁流动. 塔内右侧直流区的速度大致介于 5.5 ~ 6.5 m/s,较原有脱硫塔有明显降低. 塔内在进口烟道以上脱硫塔中部略偏左处存在一个较小的旋涡,旋涡以上的塔内空间已经布满烟气,表明烟气在塔内已经扩容至整个塔体空间. 在塔内右侧底部仍存在一个顺时针的小涡.

图 2 为 $Y=0$ 截面上塔内烟气速度分布. 由图 2 可看出,烟气进入塔内时速度仍较高,约为

6 m/s,旋涡区的速度很低,中心区域小于 1 m/s,而在旋涡以上至烟气出口的区域速度约为3 m/s,速度较为理想. 整个烟气速度场分布比较均匀.

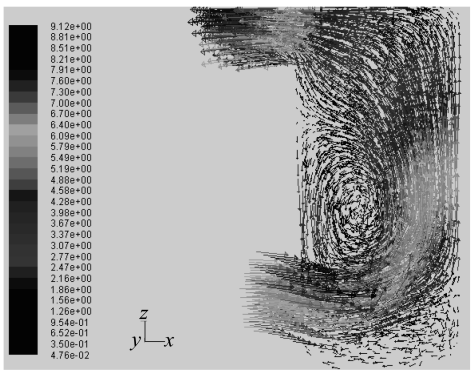


图 1 无喷淋时塔内烟气速度分布

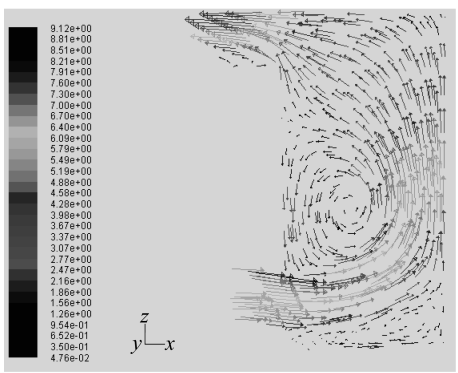


图 2 $Y=0$ 截面无喷淋时塔内烟气速度分布

图 3 为塔内烟气流动迹线. 由图 3 可知,烟气向下倾斜进入后,底部仍有一小涡存在,但涡流烟气较少,大部分烟气向上流动,在塔体中部仍有旋涡存在,但旋涡以上塔体空间已被烟气充满.

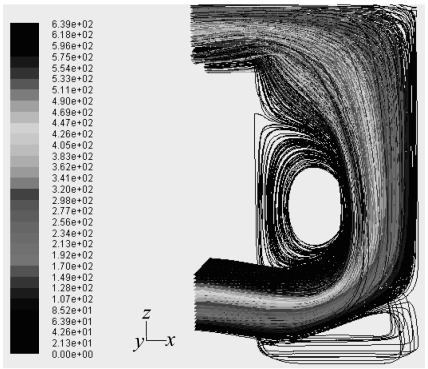


图 3 无喷淋时塔内烟气流动迹线

2.3.2 有喷淋情况下的数值模拟

图 4 至图 6 分别为优化设计后脱硫塔有喷淋时的塔内流场分布. 将有、无喷淋时的流场进行对比,可以看出喷淋对流场有强烈的扰动作用.

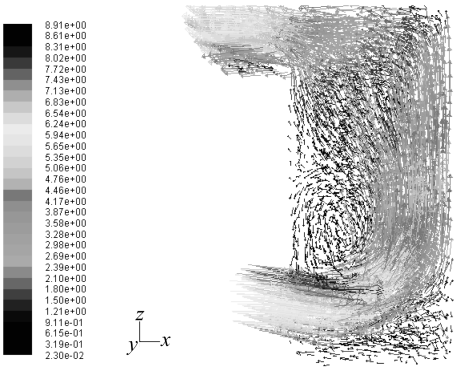


图 4 有喷淋时塔内烟气速度分布

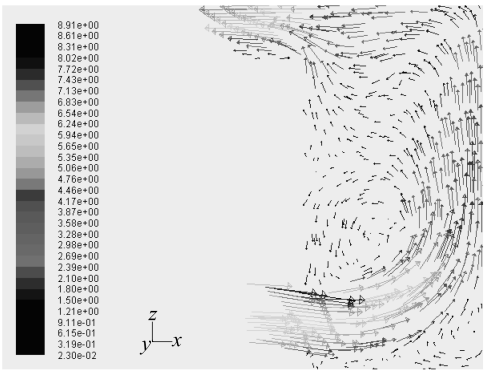


图 5 $Y=0$ 截面有喷淋时塔内烟气速度分布

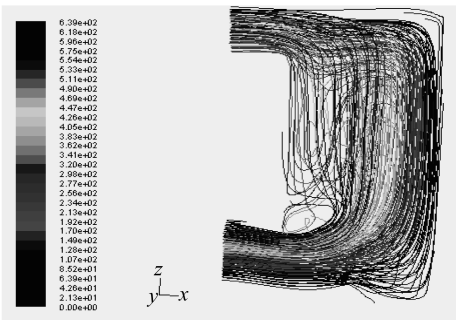


图 6 有喷淋时塔内烟气运动迹线

从图 4 至图 6 可看出:与无喷淋时相比,有喷淋时塔内烟气的流速明显降低,在进口段附近流体速度较高;烟气入口处较小范围内存在旋涡,从整体看烟气在塔体内呈向上流动的趋势,且均匀地布满整个塔体空间;烟气进口至第一层喷淋层的空间内,由于喷淋液的引入,气、液两相发生强烈的相互作用,从而使气相迅速发展为强烈的湍

(下转第 40 页)

4 结 语

继电保护系统是电力系统中最重要的组成部分,本文采用网络模型法评估了传统继电保护系统的静态可靠性,使用层次分析法对不同种类智能设备在继电保护系统中的重要程度进行了区分;计算通讯可靠性的过程中结合了通讯报文的可靠性,使计算结果更为精确;结合保护系统的网络拓扑结构对整个保护系统可靠性进行评估. 最后,通过文中算例进行验证,证明该诊断方法正确有效.

参考文献:

[1] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京:清华大学出版社,2003:56-78.

[2] 戴志辉,王增平. 继电保护可靠性研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(15):161-167.

[3] 雷宇,李涛. 变电站综合自动化系统可靠性的定量评估[J]. 电力科学与工程,2009,25(6):37-40.

[4] 耿方方,高强,崔绍飞. 基于物元模型的继电保护业务可靠性评估[J]. 电力科学与工程,2009,25(3):28-32.

(编辑 白林雪)

(上接第 11 页)

流流动状态. 在强烈湍流流动作用下,在第一喷淋层,气相沿塔体高度方向的分布已基本均匀. 烟气依次通过 3 个喷淋层到达出口截面,沿塔体高度方向向上,气相分布更为均匀. 从整体上看,加入喷淋后,烟气进口处以及脱硫塔中部的旋涡基本消失,沿左侧塔壁的回流也基本消失,取而代之的是进口处上方的一个较小尺度的逆时针旋涡,此旋涡是由于进口段突扩导致的. 塔内离散相流场模拟效果如图 7 所示. 塔内分 3 层喷淋,液滴覆盖了整个塔体空间,保证了较高的覆盖率,并且对烟气的流动也有益处.

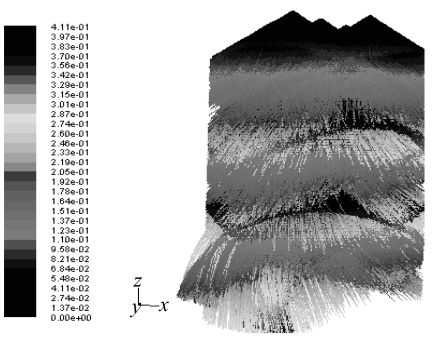


图 7 离散相流场模拟效果

3 结 论

(1) 系统原有脱硫塔内烟气速度整体较高,并且分布非常不均匀,大部分烟气贴壁流动,针对该问题采取增高塔体、增大塔径,并选用宽阔的矩形烟气进口,使烟气以较低速度分散地进入脱硫塔,烟气在塔内具有合适的速度及充分的接触时间.

(2) 对系统塔体进行优化后的模拟结果表明,倾斜入口减轻了烟气贴壁和入口后的塔体底部旋涡,故脱硫塔入口烟道倾斜一定角度是有益的.

(3) 脱硫塔内喷淋层分 3 层布置,既能兼顾高层布置较长的气液接触时间,又能保证较少的烟气贴壁量,并且能使液膜覆盖更密实,加之局部区域内强烈的掺混作用与湍流脉动,增进了塔内的气液传质过程.

参考文献:

[1] 李荫堂,李安平,王双,等. 烟气脱硫喷淋塔气体旋流实验研究[J]. 环境技术,2005(1):25-28.

[2] 王青宁,韩维亮,蒋金龙,等. 脱除硫化氢的凹凸棒石基纳米氧化锌脱硫剂的实验研究[J]. 石油学报,,2012,28(5):757-763.

[3] KIKKAWA Hirofumi. New wet FGD process using granular limestone[J]. Ind. Eng. Chem. Res. ,2002,41(12):3 028-3 036.

[4] 杨忠国,荀海川,都基圣. 基于 CFD 的活性炭烟气脱硫数值模拟[J]. 河南科技大学学报,2011,32(2):21-24.

(编辑 白林雪)