

试 验 研 究

# 华能杨柳青电厂 2×300MW 机组湿 烟囱烟囱雨治理研究

吴永杰,戴永阳,董凌宏,王天永

(上海迪夫格环境科技有限公司,上海 201103)

**摘要:**“烟囱雨”现象日益成为火力发电厂湿烟囱运行过程中的重要隐患,对其进行有效的治理具有重要的环境和社会意义。针对“烟囱雨”产生的根本原因,根据华能杨柳青电厂四期 2×300MW 机组湿烟囱的实际情况,将物理模拟研究与 CFD 气流组织模拟相结合,给出了一种湿烟囱“烟囱雨”治理方案:“DFG-LCS 液体收集系统”。系统投入使用后,经现场实地检验发现,原先电厂存在较严重的“烟囱雨”现象已得到明显控制,且后期设备维护简单,是一种高效可行的烟囱雨治理技术。

**关键词:**湿烟囱;烟囱雨;计算流体动力学(CFD);物理模拟

中图分类号:X517

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2014)05-0016-04

## THE RESEARCH OF MANAGING WET STACK RAIN IN THE HUANENG YANG LIUQING POWER PLANT 2×300MW UNIT

WU Yong-jie, DAI Yong-yang, DONG Ling-hong, WANG Tian-yong

(Shanghai Defog Environmental Science and Technology Co., Ltd, Shanghai 201103, China)

**Abstract:** Stack Rain is increasingly becoming a important hidden trouble in the process of WFGD, the efficient treatment of which leads to great environmental and social significance. In view of the fundamental cause of Stack Rain and the actual situation of Yang Liuqing power plant 4 Phase 2 × 300 MW coal-fired unit, “DFG-LCS Stack Rain Management System” provides a treatment scheme of Stack Rain based on the combination of physical simulation and CFD simulation. After the system installed, the inspection indicates that the “DFG-LCS Liquid Collection System” is a feasible and efficient management technology: the serious Stack Rain used to be in the plant has been well controlled, and equipment maintenance is so simple and convenient.

**Key words:** Stack Rain; Wet Stack; Computational fluid dynamics; Physical simulation

### 引 言

我国 300 MW 以上火力发电厂机组超过 90 %

采用石灰石-石膏湿法烟气脱硫(WFGD)技术。目前,不设 GGH 的石灰石-石膏湿法脱硫技术,因维护工作量小、运行经济可靠、检修费用低等优点,在燃煤电厂烟气脱硫中得到广泛应用<sup>[1,2]</sup>。但随之产生了新的问题,即脱硫后的饱和湿烟气温度低、湿度大,在烟囱排出过程中容易冷凝形成液滴,烟囱口排出后不能有效地抬升、扩散到大气中,其中

收稿日期:2014-01-22

2013 闵行区产学研项目:火力发电厂湿烟囱烟囱雨的高效治理, 2013MH094

第一作者简介:吴永杰(1990-),男,硕士研究生,主要研究方向为大气污染控制技术。

一些来不及扩散、蒸发的大液滴将会降落至烟囱周边地面,这种现象被称为“烟囱雨”<sup>[3]</sup>。“烟囱雨”现象的存在,会导致如下危害:(1)影响周围居民的正常生活;(2)损害沉降区域内的设施和建筑物,影响电厂的正常生产;(3)不利于周围植被及农作物的正常生长<sup>[4]</sup>。由于环境问题在公众中的敏感性,“烟囱雨”沉降问题已经成为湿法脱硫设施运行的重要隐患,对其治理具有重要的环境及社会意义。

本研究针对“烟囱雨”产生的根本原因,以烟囱雨的高效治理为目标,根据华能杨柳青电厂四期 2×300 MW 机组湿烟囱实际情况,将 CFD 气流组织模拟与传热传质理论数学模拟相结合,旨在建立模拟湿烟囱“烟囱雨”产生机理的物理模型与数学模型,完善无 GGH 烟气再热设备的湿法烟气脱硫系统烟囱雨技术,给出一种典型的湿烟囱“烟囱雨”治理系统设计方案,并使之实现产业化。

## 1 工程简介

华能杨柳青热电厂四期工程共装设两台 2×300 MW 亚临界机组,配套烟囱为钢筋砼外筒,耐酸胶泥砌筑耐酸陶土砖内筒的套筒烟囱。外筒为承力结构,内筒为导烟筒通过环梁和斜撑将荷载传给外筒。烟囱高 210 m,内衬出口直径 7 m。外筒底部直径 20.4 m,顶部直径 10.4 m。

烟气脱硫系统采用石灰石—石膏湿法脱硫,采用无 GGH 换热设备方案后,四期烟囱普遍存在“烟囱雨”现象,给周围环境、附近居民、电厂本身带来了二次环境污染。

## 2 冷凝液分析计算

对杨柳青四期 2×300 MW 机组湿烟囱进行初步分析后,首先对烟囱/烟道内存在的冷凝液量进行分析计算,这些研究结果将被用于冷凝液收集槽位置及尺寸的确定。

烟囱/烟道内冷凝液来源之一是内部饱和烟气通过热力凝结而产生。热量传送和凝结的速度是烟囱结构、热量传导、内部流体状态、环境温度、风速和方向共同作用的结果。我们选出了最恶劣环境下的风速,并以此计算出烟囱内壁冷凝液的凝结情况,然后得出一个保守的冷凝液凝结速率<sup>[5]</sup>。

烟囱/烟道内冷凝液另一来源是随烟囱高度变化的绝热膨胀而引起的。一部分的液体通过涡

流沉积在内衬表面留存,另一部分会以微小的液滴形式随着气流排出。排出部分的液滴由于非常微小,在到达地面前就已经被气化,所以不会造成问题<sup>[6]</sup>。

## 3 实物模型设计

实物模型示意图如图 1 所示,可以看到模型包含了 WFGD 系统出口盖板,通过烟道链接烟囱。模型以吸收塔出口为模型入口,以离烟囱进口 4 倍烟囱直径高处为模型出口。模型出口处烟囱实际直径为 8 m,模型比例系数是 12.12。按比例计算,模型出口的烟囱直径为 0.66 m,0.66 m 直径的模型已经足够来安装液体收集装置。

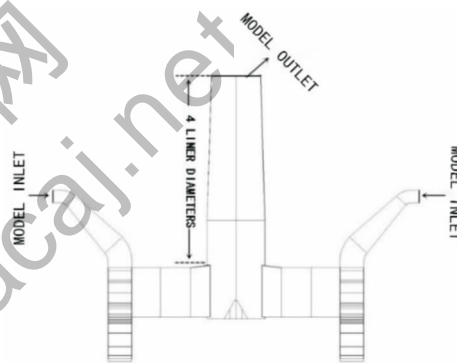


图1 模型结构简图

搭建完成后的实物模型如图 2 所示:



图2 实物模型图

## 4 CFD 气流组织模拟

### 4.1 网格划分

本模拟使用 Gambit 软件进行网格划分,根据烟囱的实际情况,处理烟囱最底部的一个网格块

采用非结构化网格外，其他块均采用结构化网格进行划分。网格划分完成后，检查网格质量，确认无误后设置进出口边界条件。本模拟模型入口采用压力进口边界条件，模型出口采用压力出口边界条件。网格划分完成后如图 3 所示：

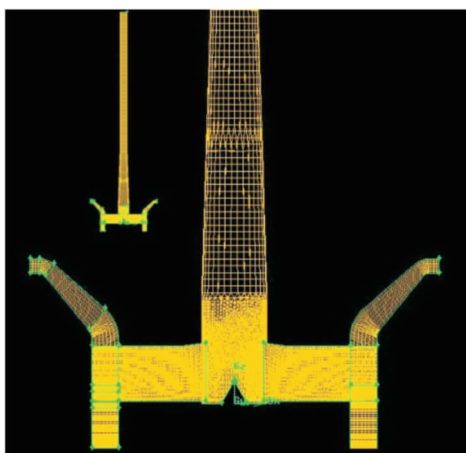


图3 模型网格图

### 4.2 Fluent 运算

将划分好的网格导入 Fluent 中，检查网格质量后打开能量方程、湍流方程，设置烟气物性参数以及边界条件。开始迭代前，先初始化流场，给各流场参数赋初始值，并将监视器 Options 设置为 Plot，其它保留默认值。设置迭代次数为 1 000 后开始运算。

### 4.3 结果与分析

烟囱/烟道各区域烟气流场矢量图如图 4 所示。可以看到烟气从吸收塔出来后到第 1、2 处钢烟道拐角处，下部出现流速较小的区域，到了第 3 处钢烟道拐角，上侧出现了流速较高的区域，而到了第 4 处钢烟道拐角处，高流速区域出现在烟道下侧。烟气进入水平烟道后，水平烟道上部及烟囱入口导流板附近区域出现了低流速区域。整个模拟结果烟气流速最高的区域位于第 3、4 拐角处。

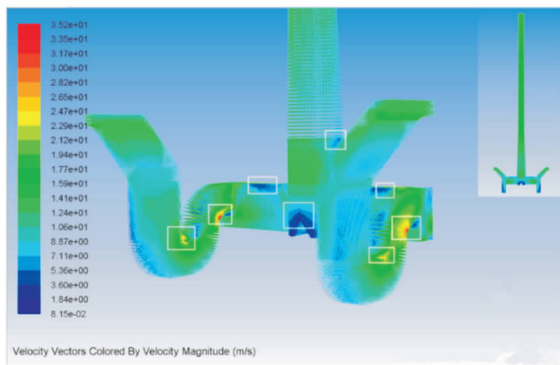


图4 烟气流场矢量图

烟气压力场云图如图 5 所示，烟气从吸收塔出口到钢烟道第 1 拐角处、第 2 拐角处的，烟道上侧压力高于下侧的，而到了第 3 拐角处，下侧的压力则高于上侧，到了第 4 个拐角处，上侧的压力则高于下侧，从钢烟道到水平烟道的入口区域上部则出现一个明显的低压区。总之，烟气从进口流经烟道过程中的流动是比较复杂的，类似螺旋线流动。烟气从水平烟道进入烟囱后，总压呈逐渐递减的趋势，压力变化的梯度明显小于烟道中的情况。

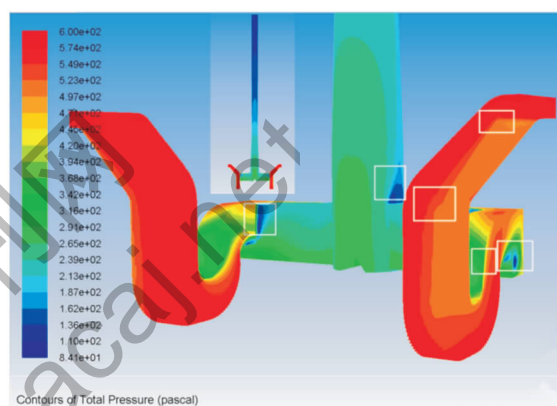


图5 烟气压力场云图

烟气温度场云图如图 6 所示，从图中可以看出，温度场和压力场总体分布类似，在烟道中的梯度比较大，烟囱中变化比较平缓。烟道烟气温度随着烟气的流动总体呈增加的趋势，烟气温度较高的区域集中在水平烟道及之后的烟囱入口。烟道/烟囱的最低温度出现在钢烟道内，在钢烟道第 2 处拐角的下端，这是由于该处烟气流速较小和边角处的散热面积角度这两个因素共同影响导致的。

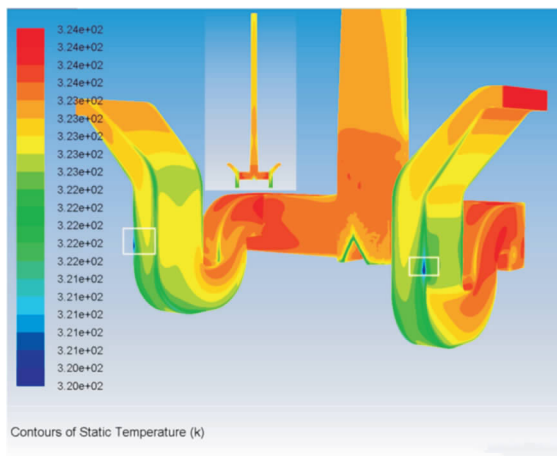


图6 烟气温度场云图

## 5 “DFG-LCS 液体收集系统”实验与设计

在完成上述工作后,我们基本确定了杨柳青四期 2×300 MW 机组湿烟囱内冷凝液的总量及分布情况,通过物理模型和 CFD 气流组织模拟进一步熟悉掌握了冷凝液在烟囱/烟道内的运动情况,确定了烟气在流动过程中的压力损失以及冷凝液二次夹带的形式,由此便可进行“DFG-LCS 液体收集系统”实验与设计工作。

## 6 实施效果

“DFG-LCS 液体收集系统”设计、生产完成后,于 2013 年 10 月~11 月在杨柳青电厂实施安装,11 月 17 日正式投入使用。经现场实地检验发现,原先电厂较严重的“烟囱雨”现象已得到明显控制,“烟囱雨”治理效果明显。

## 7 结论

华能杨柳青电厂四期 2×300 MW 湿烟囱“烟囱雨”防治工程的成功,显现出“DFG-LCS 液体收集系统”技术的先进性及可行性。

\*\*\*\*\*

(上接第 44 页)

## 4 预防措施及防磨损分析

本文针对脱硫塔入口烟道进行了数值模拟与分析,通过增加不同烟道段的导流板来分析其影响状况,重点考察了压力分布和磨损速率,得到了如下结论:

(1)通过增加导流板有利于改变双入口增压风机的压力平衡,有利于降低压损,平衡增压风机,稳定系统;

(2)当烟道内未增加导流板时,应在烟道外弯头侧增加防磨损措施;当增加导流板后有利于减小烟道的磨损,但会增加对导流板本身的磨损,因此需考虑对导流板的磨损,且导流板的磨损程度远大于对烟道的磨损程度。

(3)不同颗粒径的灰分对导流板和烟道的磨损

“DFG-LCS 液体收集系统”主要有以下优点:

(1)结构简单,生产周期较短;

(2)适用范围广:可广泛应用于混凝土、玻璃钢、砖、金属内筒等湿烟囱;

(3)安全可靠:后期设备维护简单,系统运行时也无需额外消耗能量;

(4)高效:该系统可以基本解决目前脱硫湿烟囱存在的“烟囱雨”现象,相比于国内其他烟囱雨治理方法,具有突出的高效性。

## 参考文献

- [1]周至祥. 湿法 FGD 湿烟囱工艺的问题及对策[J]. 电力环境保护, 2003, 19(1): 19~21.
- [2]张爽. 湿法烟气脱硫装置采用湿烟囱排放的探讨[J]. 电力建设, 2005, 26(1): 64~66.
- [3]杨振利. 无 GGH-FGD“湿烟囱”降雨问题分析[J]. 电力设备, 2008, 9(12): 55~57.
- [4] 聂鹏飞, 张宏宇. 火电厂无 GGH 湿法脱硫机组湿烟囱降雨原因分析及对策[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(2): 4~8.
- [5]C. Dene. Revised Wet Stack Design Guide [R]. USA: Electric Power Research Institute, 2012: 2~23~2~29.
- [6]David K. Anderson. The planning and design of effective wet duct/stack systems for coal fired utility power plants [R]. CICIND REPORT, 24(2): 37~41.

趋势是不同的,随着颗粒粒径的增大,烟道磨损速率增加,但对导流板的磨损程度减小,且不同导流板处的磨损趋势是不同。

## 参考文献

- [1] 黄勇, 蒋晓东, 施哲雄. CFD 在三通冲蚀磨损研究中的应用[J]. 化工装备技术, 2005, 26:65~67.
- [2]孙家枢. 1992. 金属的磨损.北京:冶金工业出版社, 1992.
- [3] 任建新, 熊亮, 张利军. 基于 CFD 的固体颗粒对流量计振动管的磨损分析[J]. 传感技术学报. 2011, 24(8): 1208~1211.
- [4]Fluent. 2002. The user's guide of Fluent[M]. Fluent, 2002.
- [5]John AndersonhillMcgraw. 2002. Computational Fluid Dynamics [M].清华大学出版社, 2002.
- [6] 王福军. 2004. 计算流体力学分析 [M]. 清华大学出版社, 2004.
- [7]赵新学, 金有海. 基于 CFD 的旋风分离器壁面磨损数值预测[J]. 石油机械. 38(12):42~45.
- [8]李斌, 刘强, 吴其荣. 180 度双入口脱硫吸收塔的优化模拟[J]. 四川环境. 2012(3):122~125.