

# 火电机组烟气调温装置优化设计及模拟分析

何 凯, 吴瑞生

(江苏镇江发电有限公司, 江苏 镇江 212114)

**摘 要:** 江苏镇江发电有限公司在进行烟气调温装置改造过程中发现, 由于受脱硝钢结构的影响, 按照常规的布置方式无法进行烟气调温装置的安装, 另外, 如果按照原有烟道进行烟气调温装置改造, 还存在烟气阻力较大、烟气流场不均等问题。在对现场条件进行综合研究后提出对原有烟道的布置进行改造, 对烟气调温装置进行设计优化, 并采用 Fluent 软件对改造前后烟道的烟气流场进行计算分析。不仅解决了烟气调温装置的布置难题, 还极大地改善烟气流场, 最大程度地降低了烟气阻力。机组实际运行显示, 烟气调温装置前后烟气阻力为 170Pa, 通过优化设计降低的烟气阻力抵消了烟气调温装置管组阻力, 改造前后烟气阻力几乎没有变化。为今后其他同类型机组进行类似改造提供参考。

**关键词:** 低温省煤器; 烟气余热; 调温装置; 烟气阻力; 除尘效率; 布置优化

## 0 引言

江苏镇江发电有限公司三期安装 2 台 630MW 机组, 运行几年后发现, 电除尘入口烟气温度比原设计值偏高, 导致电除尘除尘效率降低。根据《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)及环境保护部公告 2013 年第 14 号《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》, 江苏镇江发电有限公司发电机组烟气中烟尘应执行  $20\text{mg}/\text{Nm}^3$  的排放限值。而运行监测数据显示, 电除尘器出口粉尘排放浓度为  $100\text{mg}/\text{Nm}^3$  (干基, 标准状态, 6% 含氧量), 脱硫吸收塔出口净烟气浓度为  $45\text{mg}/\text{Nm}^3$  (干基, 标准状态, 6% 含氧量)。为满足国家对烟尘排放值日益严格的要求, 江苏镇江发电有限公司决定在机组进行大修期间对电除尘进行综合性改造。通过在电除尘前烟道上加装烟气调温装置, 降低电除尘进口烟气温度, 可降低烟气流速, 降低飞灰比电阻, 提高除尘效率<sup>[1]</sup>。

在实施过程中发现, 按照常规的布置方式无法进行烟气调温装置改造, 通过对烟气调温装置布置进行优化设计, 在解决烟气调温装置布置难题的同时, 还极大地改善烟气流场, 最大程度地降低了烟气阻力。

## 1 烟气调温装置

烟气调温装置又称为烟气余热换热器或低温省煤器。通过在电除尘前烟道上安装烟气换热器, 烟

气在换热器内与凝结水进行热交换, 使进入电除尘器的烟气温度下降至一定范围内, 以提高电除尘效率。烟气温度与电除尘效率有如下关系:

(1) 排烟温度降低, 使烟气量减小, 电场内风速降低, 烟尘经电场处理时间变长, 同时减少二次扬尘, 除尘效率将呈指数关系上升。

(2) 排烟温度降低, 使电场击穿电压升高, 除尘效率提高。烟温每降低  $10^\circ\text{C}$ , 电场击穿电压上升 3%。

(3) 烟温降低会使粉尘比电阻减小, 不易形成反电晕, 使除尘效率提高。当排烟温度在  $150^\circ\text{C}$  左右时, 粉尘的比电阻最高, 电除尘器更易出现低电压、大电流的反电晕现象。

(4) 烟温降低使气体的粘滞性变小, 导致烟尘颗粒在烟气中的驱进速度加快, 造成收尘效率提高<sup>[2-3]</sup>。

通过加装烟气调温装置, 在机组高负荷时, 除尘器的入口烟温可从  $140\sim 160^\circ\text{C}$  降低到  $100\sim 110^\circ\text{C}$ , 使烟气量减少, 相当于除尘器的比集尘面积增大; 同时, 烟温下降后, 烟气中的水分子、二氧化硫分子更容易和粉尘结合, 飞灰荷电性能更好, 从而可降低飞灰比电阻, 使飞灰更适于电除尘器收尘, 提高除尘效率。另外, 加装烟气调温装置后, 锅炉烟气余热被回收, 用于加热机组凝结水, 可提高机组热效率。

## 2 现场安装条件

电除尘前烟道框架有两跨，第一跨为跨度 8.0m，柱顶标高为 9.8m，全钢结构；第二跨跨度 10.5mm，柱顶高度 17.21m，全钢结构；第二跨前烟道框架顶部 17.21m 上布置有进入除尘器的水平烟气分配烟道。新增脱硝钢架布置在前烟道框架的上方，在对原框架进行加固后从原框架顶部生根。脱硝第一层钢架标高为 23.755m，烟气调温装置安装净空间高度 6.5m。在进行烟气调温装置调研时，脱硝钢架设计已经完成。

电除尘前烟道布置如图 1 所示。空预器出口烟道位于 9.8m 层，爬到 17.21m 层后，每个烟道分成 2 个分支经过一个直角弯后进入电除尘。

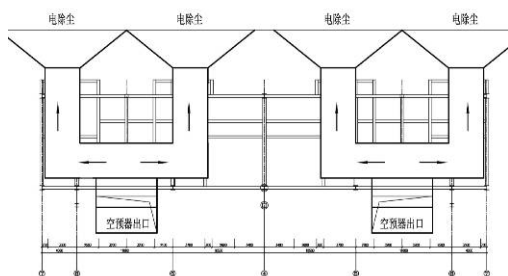


图 1 电除尘前烟道布置

### 3 烟气调温装置布置方案优化

#### 3.1 初步布置方案

根据原有烟道布置，按照常规做法提出烟气调温装置布置初步方案，如图 2 所示。

初步布置方案是在进入电除尘前的烟道直段上安装烟气调温装置，这样的布置方案主要问题是烟气阻力大，流场不均匀，更致命的问题是烟气调温装置扩大部分已经覆盖了脱硝钢结构立柱（图中红圈位置），也就是说，按照这样的方案无法进行烟气调温装置的安装。

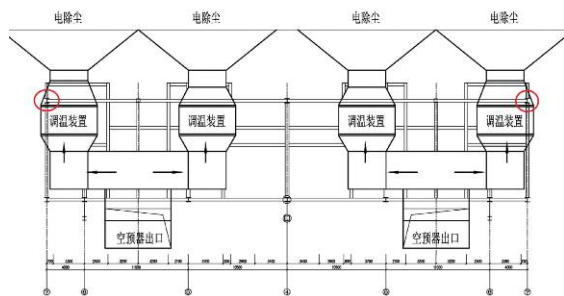


图 2 烟气调温装置初步布置方案

#### 3.2 优化布置方案

在对现场条件进行综合分析后，提出烟气调温装置的优化布置方案，如图 3 所示。

优化后的布置方案有以下优点：

(1) 让出脱硝钢架立柱位置，不影响脱硝钢架的正常安装，解决了烟气调温装置的布置难题。

(2) 减少 2 个直角弯，缩短了空预器至电除尘之间的烟道，改善了电除尘前烟道的烟气流场，使烟气阻力减小，烟气流场更加均匀。

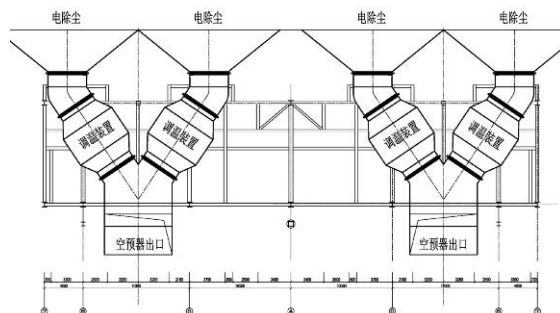


图 3 烟气调温装置优化布置方案

优化改造后的烟道如图 4 所示。

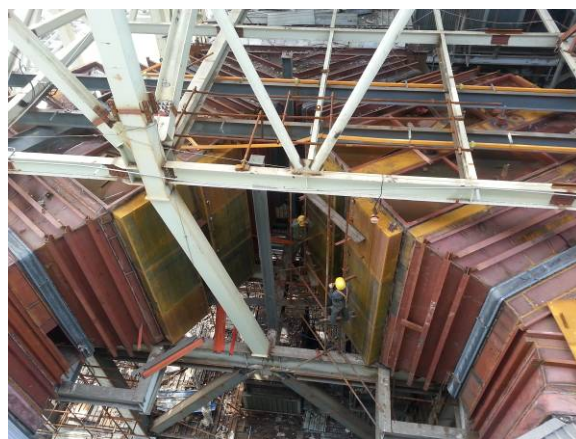


图 4 优化改造后的烟道

### 4 烟气流场模拟分析

计算流体动力学简称 CFD (Computational Fluid Dynamics)，是近代流体力学，数值数学和计算机科学结合的产物，是一门具有强大生命力的边缘科学。近年来，随着 CFD 技术迅速的发展成熟，应用 Fluent 软件进行数值模拟的准确性不断提高，已经成为工程实践上的重要方法<sup>[4]</sup>。

为使本次改造取得良好效果，在改造前的设计阶段采用 CFD 计算软件 Fluent 对改造前后的烟气流场进行了模拟计算分析。

计算中采用空气来近似烟气成分，湍流流动选用 k-e Reliable 双方程进行计算，壁面附近用标准壁面函数进行处理。两种情况下边界条件完全相同，即均采用相同的速度入口边界条件，速度分布均匀，

取 9.9 m/s，温度与实际运行时烟气温度相当，取 140℃。

计算中采用特定模型来模拟烟气调温装置，并采用在烟气调温装置区域添加热汇的方式来模拟烟气调温装置的吸热量。通过调整热汇的强度，使得最终烟气的平均出口温度为 120℃左右。分别对改造前后的两种工况计算了其流场特性，下面分别从流速和压力两方面来对比原烟道和改造后烟道流场及阻力特性。

4.1 烟气流场对比

原烟道烟气流场模拟情况如图 5 所示。从图中可看出原烟道结构导致烟气流场中产生多个漩涡（图中红色圈出部分），漩涡的存在造成较大的压降。

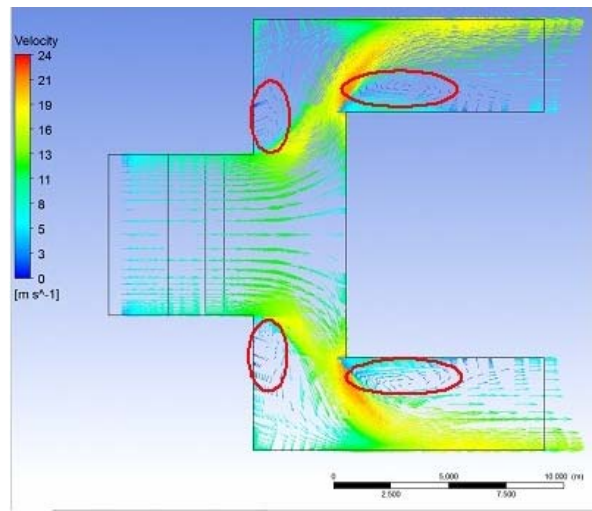


图 5 原烟道烟气流场模拟

改造后烟气流场模拟情况如图 6 所示。模拟结果显示，改造后由于烟道结构优化，且加入烟气调温装置起到整流作用，漩涡结构几乎消失。

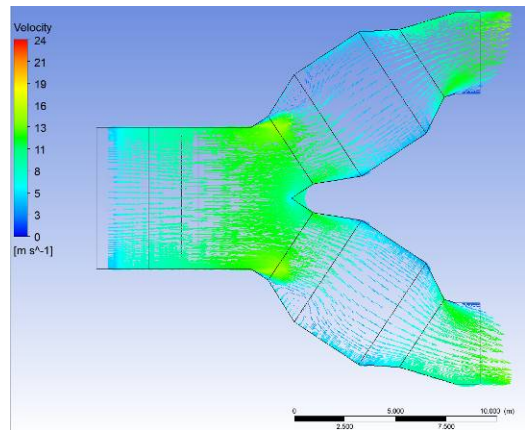


图 6 改造后烟气流场模拟

4.2 烟气阻力对比

改造前压力云线分布如图 7 所示。模拟结果显示由于烟气漩涡的存在，导致较大的压力降产生，烟气阻力较大。图 8 为原烟道各截面压力平均值分布情况。从图中可看出，空预器出口至电除尘进口烟气压降为 260.9Pa。

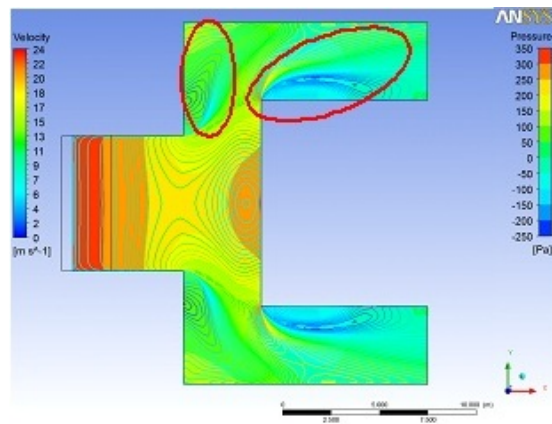


图 7 原烟道压力云图分布

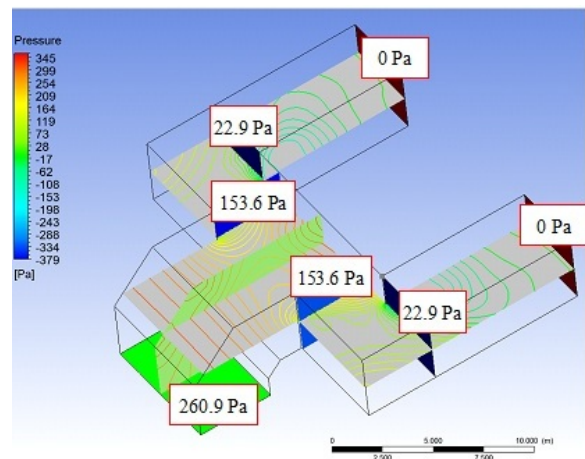


图 8 原烟道各截面压力平均值

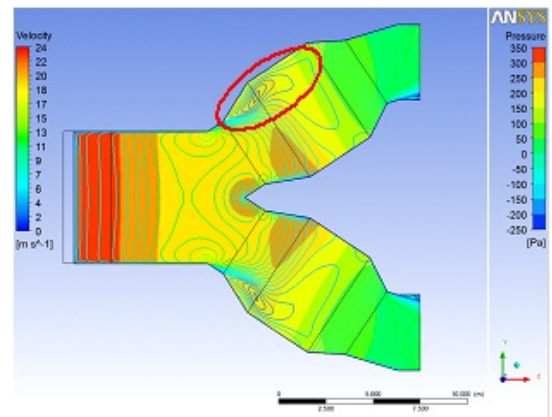


图 9 改造后压力云线分布

改造后压力云线分布如图 9 所示。从图中可看出，改进后的结构漩涡只有一个，且强度很弱，由于漩涡导致的压降明显得到改善，加入烟气调温装



置后, 烟气调温装置有整流作用, 压缩了原来的涡结构, 使得压降减小。但另一方面, 烟气调温装置本身因管束阻力作用会带来一部分压降。

图 10 为改造后烟道各截面压力平均值分布情况, 与图 8 对比后发现, 改造后虽然增加了烟气调温装置, 但是烟道整体烟气阻力增加不多, 仅增加 14Pa 的烟气阻力。

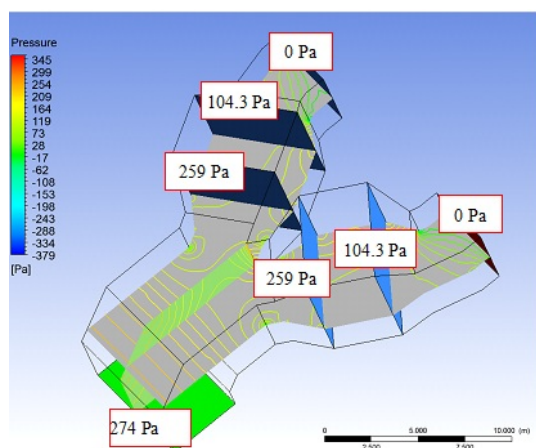


图 10 改造后烟道各截面压力平均值

## 5 运行监视情况

2013 年 11 月 21 日, 机组大修结束, 烟气调温装置改造完成。2013 年 11 月 24 日, 机组带负荷至 510MW, 调温装置进口温度为 130℃左右, 进出口压差为 170Pa, 电除尘前整体烟道阻力较改造前几乎没有增加, 与模拟结果相符。

## 6 结论

随着国家对火电机组排放要求的提高, 国内进行烟气调温装置(低温省煤器)的火电机组改造会越来越多。火电厂进行烟气调温装置(低温省煤器)改造时, 由于在烟道上增加换热管组, 会造成局部的阻力增加, 但是该部分阻力增加可通过烟道优化设计, 降低烟道阻力进行弥补。目前, 国内一些电厂在进行烟气调温装置(低温省煤器)改造调研时, 苦于引风机压头余量不足而被迫停止, 江苏镇江发电有限公司此次改造成功为其他火电机组在进行烟气调温装置(低温省煤器)改造时提供了宝贵的借鉴经验。

### 参考文献:

- [1] 何布朗.江苏镇江发电有限公司三期(2×630MW机组)电除尘改造项目可行性分析报告[R].苏州:苏州热工研究院有限公司, 2013.
- [2] 吴江.1000 MW 发电机组烟气余热换热器设计方案探讨[J]. 江苏机电工程, 2013,32(1): 74-77.
- [3] 苏建民.锅炉烟气余热回收对静电除尘器的影响[J].洁净煤技术, 2013,19(3): 102-105,109.
- [4] 张燕.加装低温省煤器后锅炉尾部 90°弯道流场的数值模拟[J].节能, 2013,21(2):34-37,109.

### 作者简介:

何 凯, 男, 江苏镇江人, 工程师, 江苏镇江发电有限公司技术支持部副部长, E-mail: kaih@crpzj.com.cn。

吴瑞生, 男, 江苏镇江人, 华润江苏镇江发电有限公司发电部, 从事锅炉运行专业管理工作。