

综述与专论

电除尘器船型灰斗内部粉尘在停机后的温度研究

赵海宝, 王贤明, 赵胜清, 何毓忠

(浙江菲达环保科技股份有限公司, 浙江 诸暨 311800)

摘要:本文以土耳其 SILOPI 2# 机电除尘器为工程分析对象,对燃煤电厂电除尘器船型灰斗内的粉尘在停机后的温度变化情况进行分析计算和有限元模拟,通过粉尘随时间的温度变化数据判断粉尘的凝结情况,得出该项目在最低气温 $-9.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下,119小时内船型灰斗不会因粉尘凝结而发生严重堵塞情况,模拟结果与实际一致。本文为工程上电除尘器因故停机的检修提供时间参考。

关键词:电除尘器;船型灰斗;瞬态热分析;粉尘凝固;停机维护

中图分类号:X701.2 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2014)04-0018-04

THE TEMPERATURE RESEARCH ON COAL ASH IN ESP SHIP HOPPER AFTER AN OUTAGE

ZHAO Hai-bao, WANG Xian-ming, ZHAO Sheng-qing, HE Yu-zhong

(1. Zhejiang Feida environmental science & technology CO.,LTD, Zhuji,311800)

Abstract: This paper analyzed the SILOPI 2 ESP in turkey and gave a finite element modelling on the coal ash which is in the coal-fired power plant ESP ship hopper after an outage. It can judge whether the coal ash was congealed from the temperature variation of coal ash over time. For this project, the coal ash will not be congealed seriously in 119 hours after an outage when the local minimum environment temperature is $-9.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ and it is as well as practical experience. This paper gave a time reference for emergency maintenance of ESP.

Key Words: ESP; Ship Hopper; Transient temperature analysis; Coal ash solidifying; Maintenance after an Outage

1 引言

随着国家对环境保护的日益重视,电除尘器在大气污染治理中担任着更加重要的角色。电除尘器从除尘技术、制造工艺、维护工艺等各个方面都在随着粉尘排放要求的提高而发展,在维护工艺这一领域也越发引起除尘器制造厂家和用户的重视。

电除尘器因故停机时,灰斗内部温度开始随时间降低,当灰斗内的粉尘温度低于酸露点时,飞

灰中的各个组成会吸收或吸附水蒸汽的分子,并形成饼状的结块,从而使粉尘固化,粉尘结块造成船型灰斗出灰口堵塞。因此灰斗的温度应该维持在酸露点温度以上,防止酸性物质与飞灰发生反应,产生粘结性的反应产物^[1]。当电除尘器停机时间较长时,需要在粉尘结块前完成排灰工作,以防止出灰口堵塞,所以掌握船型灰斗内粉尘温度变化规律对电除尘器维护是比较重要的。

2 瞬态热分析介绍

瞬态传热过程是指一个系统的加热或冷却过程。在这个过程中系统的温度、热流率、热边界条件以及系统内能随时间都有明显变化。瞬态热分

析的控制微分方程有热传导理论推导出来,用式(1)表示^[2,3]:

(1)

式中: $\kappa_x, \kappa_y, \kappa_z$ 分别为沿 x, y, z 三个方向的热传导率, $w/(m \cdot ^\circ C)$;

q 为热生成率, w/m^3 ;

c 为比热;

ρ 为密度, kg/m^3 。

ANSYS 瞬态热分析将热平衡方程由变分原理等价转化为泛函的极值问题后,将温度由形函数插值,经过一系列推导后,得出了热分析的矩阵形式表达式(2):

$$[C] \{T\} + [K] \{T\} = \{Q\} \quad (2)$$

式中: $[C]$ 为比热矩阵,考虑系统内能的增加;

$\{T\}$ 为温度对时间的导数;

$[K]$ 为传导矩阵,包含导热系数、对流换热系数及辐射率和形状系数;

$\{T\}$ 为节点温度向量;

$\{Q\}$ 为节点热流率向量。

ANSYS 利用模型几何参数、材料热性能参数以及所施加的边界条件,分别生成了以上系数矩阵。ANSYS 瞬态热分析的边界条件及初始条件可分为 7 种:温度、热流率、热流密度、对流、辐射、绝热及生热^[4]。其中,对流是指固体表面与它周围接触流体之间,由于温差的存在引起热量交换,其可由牛顿冷却方程来描述:

$$q'' = h(-T_h) \quad (3)$$

式中: h 为对流换热系数, $w/m^2 \cdot ^\circ C$;

T_s 为固体表面温度, $^\circ C$;

T_h 为周围流体温度, $^\circ C$ 。

由于船型灰斗为三维模型,粉尘本身具有保温性能,因此不能简化成类似保温层的一维模型,需要通过有限元法进行三维上的模拟计算。

船型灰斗为三维模型除满足控制微分方程外,还满足相应的初始条件和边界条件。

(1)初始条件:即本文船型灰斗初始温度为固定温度 $70^\circ C$,受温控措施控制。

(2)第一类边界条件:即本文粉尘与保温层接触面属于该类边界条件。

(3)第三类边界条件:

$$\lambda \frac{\delta T}{\delta n} = \beta(T - T_a) \quad (4)$$

式中: β 为表明放热系数, $w/m^2 \cdot ^\circ C$ 。

本文模型的保温层与空气之间的接触属于此类边界条件。

3 电除尘器船型灰斗及停机工况介绍

3.1 电除尘器及灰斗工况介绍

土耳其 SILOPI 2# 机为 $2 \times 135 MW$ 机组,位于土耳其 SIRNAK 省 SILOPI 镇,历年平均气温 $19.9^\circ C$,最低气温 $-9.3^\circ C$ 。电除尘器位于脱硫系统之后,入口烟气温度为 $65^\circ C \sim 85^\circ C$,由脱硫系统保证温度,除尘器入口烟气露点温度 $55^\circ C \sim 65^\circ C$ 。电除尘器配有船型灰斗 2 只,锥形灰斗 10 只,灰斗设有人孔门、捅灰孔、轻敲捶和打击板,其中打击板在水平方向伸出灰斗加固肋外缘 300 mm 的垂直打击面上,并且是装在灰斗捅灰孔相邻侧壁上。灰斗保温材料为岩棉,厚度为 200 mm。

3.2 停机情况介绍

电除尘器临时停机检修时,考虑灰斗配套流化风系统及电加热系统可能停止运行的极限情况,灰斗内存有运行情况下相同的储灰量,温度约为 $70^\circ C$,电除尘器结构简图如图 1 所示,由于电除尘器电场存在漏风,内部气体存在层流,上表面通过电除尘器本体的保温材料外表面传热,所以对于上表面简化成等效岩棉保温材料和等效对流换热系数,对流换热系数设置成 $5 \times 10^{-5} w/(mm^2 \cdot ^\circ C)$,通过简化避免了复杂的电除尘器工况,同时模拟时间误差在几小时范围之内,符合工程要求。

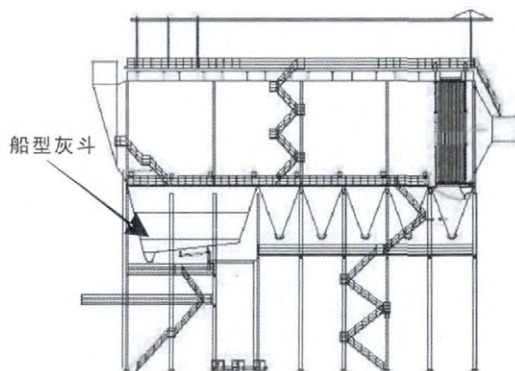


图1 电除尘器简图

4 船型灰斗内部粉尘瞬态传热模拟及其温度场分析

4.1 ANSYS Workbench 及模拟过程主要步骤介绍

ANSYS Workbench 工程热分析模块包括稳态热分析模块 (Static Structure) 和瞬态热分析模块 (Transient Thermal), 理论是基于傅立叶定律的热传导方程, 用有限元法计算各节点的温度。本文的开始状态通过稳态热分析模块计算得出, 然后将结果导入瞬态热分析模块, 进行瞬态降温模拟计算^[5-7]。

通过 Solidworks 建立船型灰斗的三维模型, 然后导入 workbench, 模型转换后, 设置材料参数并赋予对应结构, 材料参数见表 1, 将模型导入 Transient Thermal 模块进行稳态热分析, 首先划分网格, 通过 Hex Dominant 方法进行网格划分, 并通过 sizing 控制网格尺寸为 250 mm, 网格划分后的有限元模型如图 2 所示。

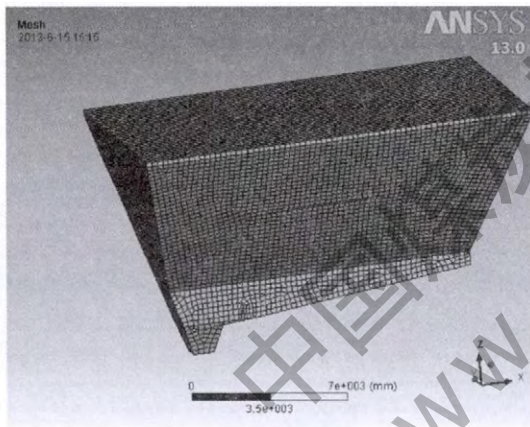


图2 有限元模型

表 1 材料热学参数

	粉尘	岩棉
密度/(kg/m ³)	800	100
导热系数/(w/m·°C)	2.58	0.044
比热/(J/kg·°C)	810	900

4.2 在冬季最低温度-9.3 °C环境下的模拟及结果分析

将粉尘初始温度设定为 70 °C, 将岩棉初始温度设为环境温度-9.3 °C, 以 Temperature 为模拟结果, 对象选定为粉尘和岩棉, 然后进行稳态热分析, 计算结果为粉尘每个网格单元温度为 70 °C 和岩棉每个网格单元温度为环境温度, 结果温度作为瞬态传热分析的初始条件。

将稳态热分析结果导入 Transient Thermal 模

块, 进行瞬态热分析, 计算温度随时间的变化过程, 通过 convection 设置空气对流换热系数, 将上表面参数设置为 $5 \times 10^{-5} \text{ w}/(\text{mm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 其他外表面全部设置为 $2 \times 10^{-5} \text{ w}/(\text{mm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 将计算结束时间设为 $1 \times 10^6 \text{ s}$, 计算步设为 5 步, 时间平均分配。对计算结果进行后处理, 包括对重要时间点的温度云图的提取和每个网格单元节点温度的提取, 将计算结果的网格单元节点温度数据导出到 EXCEL, 通过 EXCEL 的 $=\text{COUNTIF}(\text{B2:B217316}, ">=65") - \text{COUNTIF}(\text{B2:B217316}, ">70")/\text{COUNT}(\text{B2:B217316})$ 进行各温度区间的平均节点温度比率计算, 再将数据显示为曲线图。

(1) 节点平均温度变化情况:

平均节点温度变化曲线如图 3 所示。

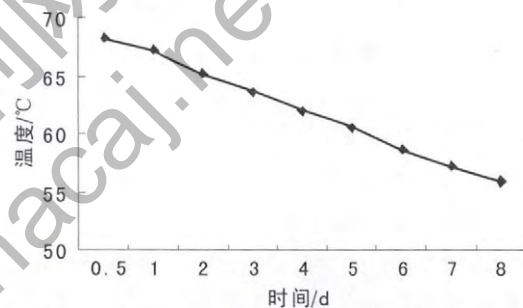


图3 平均节点温度变化曲线

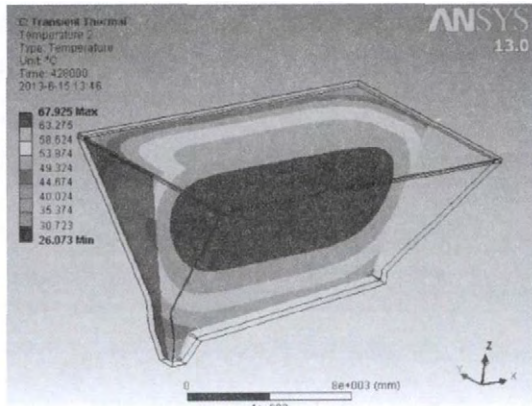
随着时间推移, 船型灰斗内粉尘平均节点温度逐渐降低, 在 3 d 后平均节点温度为 63.6 °C, 5 d 后为 60.5 °C, 也就是说, 船型灰斗内的粉尘能在 5 d 之内保持平均温度 60 °C 以上。

(2) 5 d 后船型灰斗内的粉尘温度情况分析:

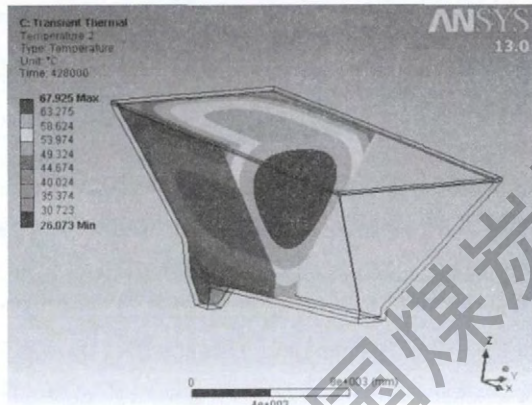
5 d 后船型灰斗内的粉尘温度分布如图 4 所示, 从图中可以看出, 船型灰斗中间大部分粉尘的温度在 60 °C 以上。节点温度曲线如图 5 所示, 5 d 后温度在 60 °C 以上的粉尘占总粉尘的 62.5 %, 大部分在酸露点温度以上, 60 °C 以下的粉尘主要集中在边上和卸灰口处, 在这个时候如果需要排灰, 只要借助捅灰孔、轻敲捶和打击板等灰斗配套设施进行简单的操作, 就可使其他中部的粉尘也跟随卸下, 因为中部粉尘未凝结, 上平面粉尘会因自身重力而卸下。

因此, 在冬季最低温度-9.3 °C 环境下, 船型灰斗能在 119 h (约 5 d) 内保持平均温度 60 °C 以上, 只有少部分粉尘低于酸露点而凝结, 经过简单处理就可完成卸灰工作, 工程实际经验表明 5 d 左

右船型灰斗内粉尘不会发生严重结块，模拟结果与实际一致。



a 灰斗纵向剖视图



b 灰斗横向剖视图
图4 粉尘温度云图

表2 各温度区间的粉尘所占比率

时间/h	平均温度/℃	在以下温度区间的粉尘占全部粉尘比率				
		65℃~70℃	60℃~65℃	55℃~60℃	55℃以下	60℃~70℃
12.7	68.2	0.93	0.063	0.006	0.001	0.993
23.8	67.3	0.845	0.133	0.019	0.003	0.978
51.6	65.2	0.594	0.307	0.079	0.02	0.901
74.4	63.6	0.447	0.375	0.122	0.056	0.822
96.7	62	0.32	0.411	0.168	0.101	0.731
118.9	60.5	0.216	0.409	0.222	0.153	0.625
146.7	58.7	0.11	0.374	0.29	0.226	0.484
169.4	57.2	0.043	0.337	0.333	0.287	0.38
191.1	55.9	0	0.029	0.348	0.623	0.029

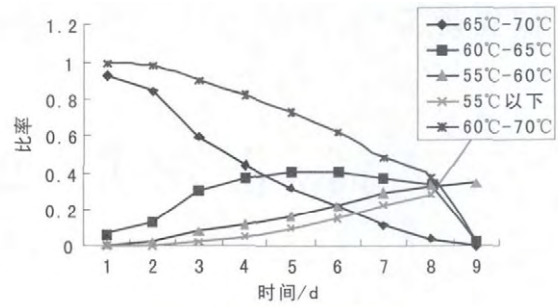


图5 节点温度比率变化曲线

5 结论

本文借助有限元分析软件 ANSYS Workbench 的瞬态热分析模块，对土耳其 SILOPI 2# 机燃煤电厂电除尘器因故导致船型灰斗内的粉尘温度逐渐降低的过程进行了瞬态热分析，最后得出在环境温度为当地冬季最低温度-9.3℃的情况下，船型灰斗内的粉尘在停机 119 h 后只要借助捅灰孔、轻敲捶和打击板等灰斗配套设施经过简单的操作即可完成卸灰，不会发生堵塞情况，模拟结果与实际一致。本文的研究方法为今后电除尘器在因故停机后船型灰斗内粉尘温度变化情况提供定量的研究方法，为电除尘器的维护提供了一定的数据参考。

参考文献

- [1]马果俊,虞瑞鹤,孙树权.灰斗电加热器的设计与使用[J].电力环境保护.1996,12(1):5-10.
- [2]杨世铭.传热学[M].高等教育出版社.2006:112-180.
- [3]孙潇,邹钺.相变墙体温度变化的计算机模拟[J].建筑节能.2010(9):58-60.
- [4]Incropera F P,Dewitt D P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer [M]. 5th ed. New York: John Wiley and Sons.2002: 268-270.
- [5]许杨健,涂代惠. 对流换热边界下梯度功能材料板瞬态热传导有限元分析[J].材料科学与工程学报.2003,21(1):76-79.
- [6]徐江,等. ANSYS 在混凝土拱坝温度场仿真计算中的应用[J].水利规划与设计. 2008(4):75-77.
- [7]谢公南,王秋旺. 遗传算法在板式换热器尺寸优化中的应用[J]. 中国电机工程学报. 2006(4):53-58.