

文章编号:1671-6833(2008)03-0066-03

微水节能热风阀阀板的模拟分析

李金海,熊滨生

(郑州大学 机械工程学院,河南 郑州 450001)

摘要:运用有限元法对微水节能热风阀阀板在稳态下的温度场进行了传热学分析,并用有限元软件 ANSYS 计算出了阀板在稳态工作状态下的温度场分布,阀门在完全开启状态时,阀板外圈温度最高,温差最大,易引起阀板外圈变形;阀门在关闭状态时,阀板与耐火材料交界处的最高温度为 205℃左右,并且阀板芯温度随着耐火材料的热导率的增大而升高。

关键词:热风阀;有限元;温度场;传热;

中图分类号: TH 134 **文献标识码:** A

0 引言

热风阀是热风炉系统中不可缺少的重要设备,热风阀安装在热风炉的热风出口处。随着高炉的热风温度不断提高,采用高压操作,热风阀的工作条件越来越严酷,热风阀在 900~1350℃和 0.5 MPa 左右压力的条件下工作,是阀门系统中工作条件最恶劣的设备^[1]。笔者利用有限元分析软件 ANSYS 进行分析^[2-3],主要目的是分析阀板温度场在稳态时的分布情况,从而为解决工程中由于受热件温度过高造成的零件破坏问题提供理论依据。

1 阀板传热分析的数学模型

1.1 导热微分方程

对于平面问题的具有内热源和瞬态温度场的固体导热微分方程为^[4]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{q_v}{k} \right) \quad (1)$$

式中: T 为物体的瞬态温度,℃; t 为过程进行的时间 s ; k 为材料的导热系数,作常数处理, W/(m·℃); ρ 为材料的密度,作常数处理, kg/m³; c_p 为材料的定压比热,作常数处理, J/(kg·℃); q_v 为材料的内热源强度,作常数处理, W/m³; x 和 y 为直角坐标, m。

对于轴对称问题,方程的形式为

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_v}{k} \right) \quad (2)$$

式中: r 和 z 分别为半径和对称轴, m。

由于阀板具有轴对称的特点,因此阀板热分析可以简化为平面问题来分析,阀板的热分析属于无内热源传热问题。

对于无内热源轴对称稳态温度场, $q_v = 0$, $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$, 式(2)可简化为

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

1.2 边界条件

由于已知热风和水的温度,以及热风与耐火材料、热风与阀板外圈、水与管道之间的换热系数,属于第三类边界条件,可以表示为

$$-k \left[\frac{\partial T}{\partial n} \right]_r = \alpha (T - T_f) \Big|_r \quad (6)$$

1.3 温度场在空间域上的离散化

对于稳态导热问题,由热传导方程、第三类边界条件可解出阀板的温度 T 。根据变分原理,该问题可化为泛函的极值问题,其对应的泛函形式为

$$J[T(r, z)] = \iint_B \frac{kr}{2} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] dr dz + \int_r \alpha \left(\frac{1}{2} T^2 - T_f T \right) r ds \quad (7)$$

其取极值的条件为

$$\frac{\partial J}{\partial T_i} = 0 \quad (8)$$

收稿日期:2008-05-27;修订日期:2008-07-08

基金项目:河南省科技攻关计划资助项目(0524260064)

作者简介:李金海(1983-),男,河南新乡人,郑州大学硕士研究生,主要从事机械传动方面的研究。

采用有限单元法把分析对象离散化,把求解区域 D 划分成有限个单元后,这时变分计算可以在单元中进行,即

$$\frac{\partial J^D}{\partial T_i} = \sum_{i=1}^E \frac{\partial J^e}{\partial T_i} = 0 \quad (9)$$

其中,

$$\frac{\partial J^e}{\partial T_i} = \iint_V k r \left[\frac{\partial T}{\partial r} \frac{\partial}{\partial T_i} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial T}{\partial z} \frac{\partial}{\partial T_i} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] dr dz + \int_r \alpha \left(\frac{\partial T}{\partial T_i} - T_f \frac{\partial T}{\partial T_i} \right) r ds \quad (10)$$

设单元 e 的结点 i, j, m, \dots, p 的结点温度为 $T_i, T_j, T_m, \dots, T_p$, 单元内任一点的温度用结点温度表示如下:

$$T = N_i T_i + N_j T_j + N_m T_m + \dots + N_p T_p$$

$$= [N_i, N_j, N_m, \dots, N_p] \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_m \\ \vdots \\ T_p \end{Bmatrix}$$

$$= [N]^T [T]^T \quad (11)$$

1.4 总体合成公式

将式(11)代入式(10),并将结果代入式(9)加以集合,得到

$$[K] \{T\} = \{P\} \quad (12)$$

式中:系数矩阵 $[K]$ 称为温度刚度矩阵; $\{T\}$ 是未知温度值的列向量; $\{P\}$ 称为等式右端项组成的列向量。

对式(12)求解,就可得到各个节点的温度值。

2 阀板的有限元分析

2.1 阀板的有限元模型

对阀板的模型进行必要的简化^[5],认为阀板中的水道均匀分布,忽略进水管和出水管的影响以及焊缝的影响。简化的模型具有轴对称特征,同时阀板两面的载荷也具有对称性,如图1所示。采用热分析单元 PLANE77 四边形八节点对整个阀板进行网格划分,并设置单元选项为轴对称,网格划分见图2。

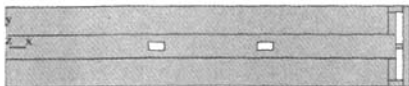


图1 阀板几何模型

Fig.1 Geometric model of valve plate

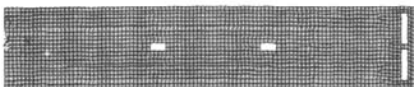


图2 阀板网格划分

Fig.2 Meshing of valve plate

2.2 边界条件的确定

根据热风阀的实际工作情况,分别对阀板在完全开启状态和关闭状态进行分析。

2.2.1 关闭状态

(1) 阀板在关闭状态时,耐火材料和热风的换热以对流换热进行。

(2) 水道表面对流换热系数的计算。内外水环水道表面的换热是矩形流道的受迫紊流流动换热。流道的特征尺寸为

$$d_e = \frac{4A_c}{P} \quad (13)$$

式中: d_e 为当量直径, m; A_c 为非圆管道的横截面积, m^2 ; P 为流体和横截面积接触长度, m。

准则关联式为

$$Nu_f = 0.16 (Re_f^{2/3} - 125) Pr_f^{1/3} \quad (14)$$

式中: Re_f 为水的雷诺数; Pr_f 为水的普朗特数; 下标 f 表示确定流体运动黏滞系数的温度。

强制对流换热系数 α

$$\alpha = \frac{Nu_f \lambda}{d_e} \quad (15)$$

式中: λ 为水的导热系数; d_e 当量直径, m。

流体在弯曲管道内流动时,将会产生二次环流,应对式(15)所得的对流传热系数 α 乘上一弯管修正系数 c_R

$$c_R = 1 + 10.3 \left(\frac{d}{R} \right)^3 \quad (16)$$

式中: R 为弯曲管道的曲率半径。

2.2.2 完全开启状态

(1) 阀板在完全开启状态下,外水圈下部表面与空气之间属于强制对流换热。依据外掠平板混合边界层时的特征数关联式,可近似计算 Nu_f 。

$$Nu_f = 0.664 Re_f^{1/2} Pr_f^{1/3} \quad (17)$$

式中: Re_f 为热风的雷诺数; Pr_f 为热风的普朗特数。

依据式(15)可以算出热风的强制对流换热系数。

(2) 水道的强制热对流系数依据式(15) ~ (16) 计算。

2.3 材料的热物理参数

钢材的物理参数如导热系数等随温度变化,是温度的非线性函数,参数选取见参考文献[1-2]。热风阀不定型耐火材料的导热系数具有不确定性,随成分、捣打强度等变化很大,分别考虑其导热系数为 $0.1 \text{ W/(m} \cdot \text{℃)}$ 、 $0.5 \text{ W/(m} \cdot \text{℃)}$ 的情况。

2.4 计算结果

2.4.1 关闭状态

耐火材料的导热系数分别为 $0.1, 0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 时, 阀板的温度场如图 3 和图 4 所示。

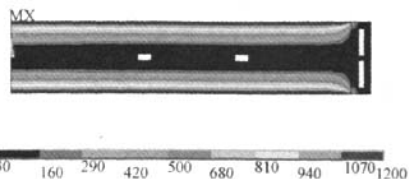


图 3 导热系数为 $0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 时的温度场分布

Fig. 3 Temperature distributions when the heat conductivity is $0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

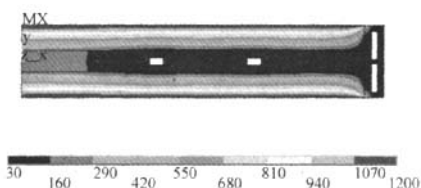


图 4 导热系数为 $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 时的温度场分布

Fig. 4 Temperature distributions when the heat conductivity is $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

图 5 中, 1 和 2 分别代表耐火材料热导率为 $0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 和 $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 时的温度变化曲线图。由图 5 可以看出, 随着耐火材料的热导率的增大, 阀板芯部的温度随之增大, 阀板耐火材料表面的温度最高。耐火材料热导率为 $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 时, 阀板与耐火材料交界处的最高温度为 205°C 左右, 阀板处于安全工作状态。

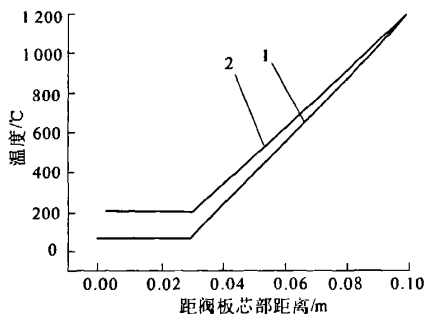


图 5 导热系数分别为 $0.1, 0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 时的曲线图

Fig. 5 The graph when the heat conductivity is 0.1 and $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

2.4.2 完全开启状态

由于阀板耐火材料上不受热载荷, 只有阀板外圈受热载荷的作用, 因此, 耐火材料的导热系数分别为 $0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 和 $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 时, 阀板的温度场分布是一样的, 其温度场分布见图 6。图 7 为阀板外圈温度分布的曲线图。

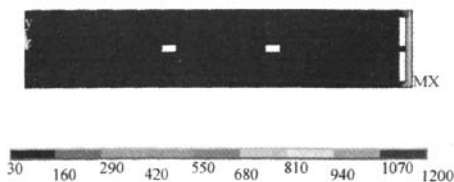


图 6 阀门完全开启时的温度场分布

Fig. 6 Temperature distributions when the valve plate is full open

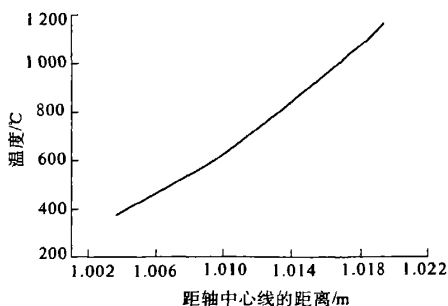


图 7 阀板外圈温度分布曲线图

Fig. 7 Temperature distribution curve of the outer of the valve plate

由图 7 可知, 阀板外圈的外侧温度为 1200°C , 内侧温度为 353°C , 温差为 847°C , 容易引起阀板外圈钢板的变形、开裂。

3 结束语

阀板在频繁开启和关闭的过程中, 阀板耐火材料温度变化比较快, 这也是阀板耐火材料开裂和脱落的原因; 阀板外水圈应该采用特殊复合材料, 提高材料的热强度极限, 或者提高阀板的行程, 以减少热风扫掠外水环表面面积。

参考文献:

- [1] 熊滨生, 冯力, 王银河, 等. DN1800 微水节能热风阀的研制 [C]//2007 中国钢铁年会论文集·炼铁. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 909-913.
- [2] LIANG J Z, LI F H. Simulation of heat transfer in hollow-glass-bead-filled polypropylene composites by finite element method [J]. Science Direct Polymer Testing, 2007(26): 419-424.
- [3] 张智晖. ANSYS8.0 热分析教程与实例解析 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [4] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] 王维, 倪锋. 热型连铸过程的二维稳态传热模型 [J]. 郑州大学学报: 工学版, 2005, 26(4): 62-65.

(下转第 80 页)

Research on Vertical Unbalance on the Coupling Flexural and Torsional Vibrations of Rotor

LIU Jing - shuo¹, LI Guang - zhong¹, AN Xue - li²

(1. College of Application Technology, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China; 2. College of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The coupling between lateral and torsional vibrations of a vertical unbalanced rotor is studied. These coupling mechanisms are studied here with a nonlinear rotor model. An attempt is made to reveal dynamic characteristics of vertical rotor. Qualitative analysis is made for the nonlinear differential equation. And frequency components of coupled vibrations are obtained. Simulation results are also obtained by numerically solving the equations of motion. New torsional of which the main frequency is $|\omega - \omega_1|$ is excited through coupled vibrations when an exterior excited force with frequency ω_1 lies. New flexural vibrations of which main frequency is $|\omega \pm \omega_{t1}|$ will also be excited by torsion when an exterior excited moment with frequency ω_{t1} lies. It is shown that qualitative analysis results and numerical simulation results are consistent. Theoretical support for fault diagnosis is provided by analysis coupled flexural and torsional vibration vertical rotor of the result.

Key words: vertical rotor; unbalance; flexural vibration; torsional vibration; coupled vibration; numerical simulation

(上接第 68 页)

Simulation of Valve Plate of Hot Blast Valve with Minimum Cooling

LI Jin - hai, XIONG Bin - sheng

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In this paper, the stable state temperature field of the valve plate of hot blast valve with minimum cooling is analyzed by making use the finite element method. And the stable state temperature distribution is calculated by using ANSYS. When the valve is fully open, the temperature is the highest and the temperature difference is also the biggest at the outer of the valve plate, and most easily to cause the outer of the valve distortion. When the valve is closed, the maximum temperature at the junction of the valve plate and refractory material is about 205 °C, and the temperature of the valve plate core increases with the increase of the heat conductivity of refractory material.

Key words: hot blast valve; finite element; temperature field; heat transfer