

风扇磨煤机润滑系统的传热机理分析及改进设计

刘效洲¹, 惠世恩¹, 徐通模¹, 李战国², 李萍³, 金宇锋⁴

(1. 西安交通大学 锅炉实验室, 陕西 西安 710049; 2. 长春发电设备总厂, 吉林 长春 130022;

3. 长春电力技术学校, 吉林 长春 130021; 4. 东北电力设计院, 吉林 长春 130021)

摘要: 通过介绍风扇磨煤机润滑系统的改进设计方案、相应的计算方法以及润滑系统改进前、后效果的对比, 证明了改造后的润滑系统具有明显的优越性。

关键词: 磨煤机; 润滑系统; 肋片管冷却器; 效果对比; 经济效益

中图分类号: TK223.24 文献标识码: A

1 引言

风扇磨煤机是磨制褐煤的理想设备, 主要分布在东北、西南、内蒙等地。其中 FM340.1060 型风扇磨煤机是最大的国产风扇磨, 其轴承箱原采用油泵强制润滑系统, 原理图见图 1。

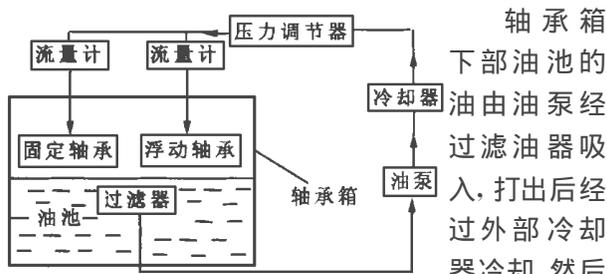


图1 强制循环系统原理图

分别润滑固定轴承和浮动轴承。油路中的压力调节器起着就地监测油流变化的作用, 并可发出电信号送到控制室以监视其油压。在油路中设有可调节的流量计来分配润滑油的流量及就地监测油流的变化, 也可发出电信号, 送入控制室实现低值报警。油流量的大小根据轴承温度来调整。两个轴承各有一个带电测点的测温元件, 用于监测轴承箱内油温的变化。

从以上油系统结构来看, 润滑、冷却油系统比较复杂, 很容易因油压过高、过低、流量计失灵、滤油器堵塞等原因, 导致磨煤机停止运行。又因油管路长, 接口多, 渗油现象难以避免, 造成环境污染, 维修也

比较复杂。为此, 内蒙通辽电厂委托我校对风扇磨的润滑系统进行了改进: 取消油泵强制润滑系统, 改为内置式冷却器自然冷却润滑系统。也就是在轴承箱下部油池中放置冷却器, 利用从冷却器中流过的冷却水来带走轴承产生的热量。此次进行的改进, 首先对轴承发热量, 冷却器的冷却能力进行计算, 然后再进行热平衡计算。根据热平衡计算的结果, 选择合适的冷却器。最后, 再通过现场实际运行来验证改进效果。下面, 对各个步骤分别进行论述。

2 轴承发热量的计算

轴承发热量和运行温度的高低主要取决于轴承工作时的摩擦状况。轴承摩擦与轴承负荷, 轴承类型, 尺寸, 转速, 润滑油的性能及用量等诸多因素有关。通辽电厂的风扇磨采用瑞典 SKF 公司生产的轴承。根据文献[1], 轴承发热量可用下式计算:

$$Q = 1.05 \times 10^{-4} \times M \times N$$

式中:

Q —轴承发热量, W

N —转速, r/min

M —轴承总的摩擦力矩, N·mm

$$M = M_0 + M_1, \text{N} \cdot \text{mm}$$

M_0 —润滑油的动力损失, N·mm

M_1 —径向载荷产生的摩擦力矩, N·mm

M_0 和 M_1 计算式可由相应手册查出, 由以上各式即可算出轴承的发热量 Q , 此热量就是冷却器要带走的热量。将风扇磨煤机的各项参数代入计算, 最终算出轴承的发热量 Q 约为 10 kW。

3 自然润滑系统的传热机理及冷却器结构形式的确定

由于风扇磨煤机转速高, 负荷大, 导致滚动轴承产生大量的摩擦热。由于滚动轴承的一部分浸在润滑油中, 依靠浸油润滑即可减轻摩擦, 又可将轴承产生的热量传给润滑油。但是如果不把润滑油中的热量及时散出, 油温将越升越高, 最终导致润滑油失去粘性。此外, 还会导致轴承与润滑油间的温差减小, 最终不能将轴承产生的热量及时散出, 导致轴承温度超过最高允许温度(最高允许温度为 75 °C), 强制磨煤机停止运行。因此, 必须在轴承箱下部油池中放置冷却器, 利用从冷却器中流过的冷却水来带走轴承产生的热量, 使润滑油温始终保持在理想工作状态。但是, 由于冷却器管内的冷却水的流速较高, 而管外润滑油几乎处于静止状态。根据传热学公式进行计算, 管外热阻是管内热阻的十倍以上。因此, 必须采取措施强化管外传热, 减小总热阻。强化传热的措施很多, 首先, 应该改变管外润滑油的流动状态, 这是增大油侧换热系数的最有效方法。经过研究, 在轴上加装了搅流片, 并使搅流片深入油面下 200 mm, 在轴高速转动的情况下, 油池中的油被剧烈搅动, 使润滑油由静止状态变成紊流状态, 边界层厚度剧烈减薄, 大大强化了传热。根据传热学公式进行计算, 仅此一项措施就使油侧的换热系数增加 3 倍以上。其次, 虽然油侧换热系数大大增加, 但与水侧相比还相差很远。因此, 还须在油侧布置扩展受热面, 通过扩大与润滑油的接触面积来提高传热量。扩展受热面的形式很多, 考虑到安装及制造等诸多问题, 最终决定采用肋片管(在管外焊接碳钢肋片)冷却器。肋片管的强化传热机理是通过在管外焊接肋片扩大与润滑油的接触面积来提高传热量。工程设计时采用“肋化系数”来表示受热面扩展后面积增加的倍率, 它是指肋片侧的总表面积与肋化前同侧光管面积之比。肋化系数越大, 扩展表面积越大, 但是肋片导热的热阻亦将随之增加, 肋片单位面积的传热能力反而下降。再者, 如果肋片间距太小, 会造成热边界层粘连而影响传热; 间距太大, 又达不到强化传热的目的。经过优化计算, 最终取肋化系数为 6.51。这样油侧的换热面积又增加了 5 倍以上(考虑到肋片效率不等于 1), 基本上与水侧相等, 满足了强化传热的要求。肋片管按制造方法可分为机械连接和焊接连接两种。机械连接式肋片管容易因加工不当或膨胀不均匀等原因引起松动而影响传热, 因而决定采用焊接式肋片。为了焊缝的平整和光滑, 采用了氩弧焊工艺。冷却器整体加工完毕后, 进行水压试验, 以验证焊接严密无渗漏。改造方案的

原理图见图 2。

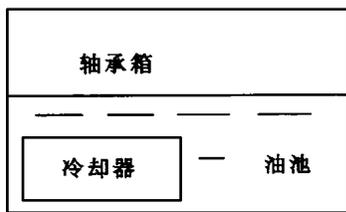


图 2 改造方案原理图

4 冷却器的设计计算

进行冷却器设计计算的目的是为了保证冷却器的传热量大于轴承的发热量(10 kW)。

冷却器的传热方程如下:

$$Q = (t_1 - t_2) / R$$

式中: t_1 —热流体平均温度(油温), °C

t_2 —冷流体平均温度(冷却水温), °C

R —总热阻, °C/W

根据机械手册, 润滑油温以不超过 75 °C 为限。但是考虑到轴承运行的安全性, 必须留一定的余量。最终取油温为 40 °C。冷却水采用深井水, 冷却水量按每小时 9 m³ 计算, 由于水的比热很大, 冷却水流过冷却器后一般温升很小, 可以忽略不计。因此, 冷却水温可取为 20 °C。总热阻共由五项组成, 即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

其中: R_1 —管壁导热热阻, R_2 —热流体侧对流换热热阻, R_3 —热流体侧污垢热阻, R_4 —冷流体侧对流换热热阻, R_5 —冷流体侧污垢热阻。各项热阻的计算式从略。最后算出冷却器的传热量 Q 大约为 20 kW, 远大于轴承的发热量。因此, 设计是可行的。

5 厂内试运行情况

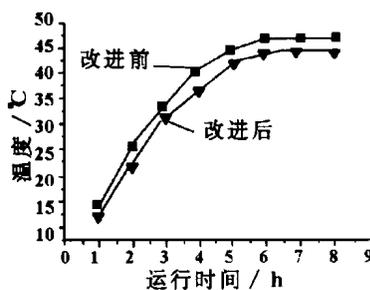


图 3 改进前后轴承温升曲线

冷却器生产、安装完毕后, 在电厂进行了整机运行。冷却水采用深井水, 水温 20 °C。根据磨煤机厂内试运技术条件, 运行总共持续了 8 个小时。改进前后轴承温升曲线如图 3 所示。

从升温曲线的变化趋势看, 改进后与改进前相比, 轴承温度基本不变。这说明改进设计是成功的,

(转 82 页)

面处的温度场。由图可知,在旋流器后附近主燃区燃气温度高,而在燃烧室出口处,因掺混冷却空气进入,使燃气温度降低,满足了涡轮叶片对燃气温度的要求。火焰筒近壁处,由于气膜冷却,满足了火焰筒材料的低温要求。图3为计算对称面处的速度场。由图可知,旋流器中心产生回流区,可以保证燃烧的可靠性、充分性和稳定性。火焰筒近壁处,由于冷却气流的进入,速度因叠加而增高。图6为计算出口截面处的温度场。由图可知,出口截面温度场分布均匀,呈对称状,这样可使涡轮叶片受热更加合理。

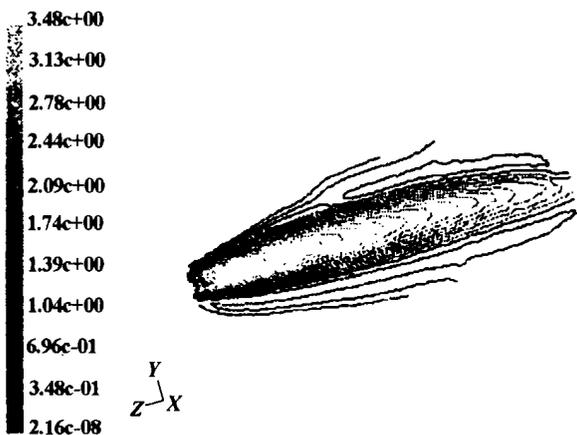


图5 对称面辐射场

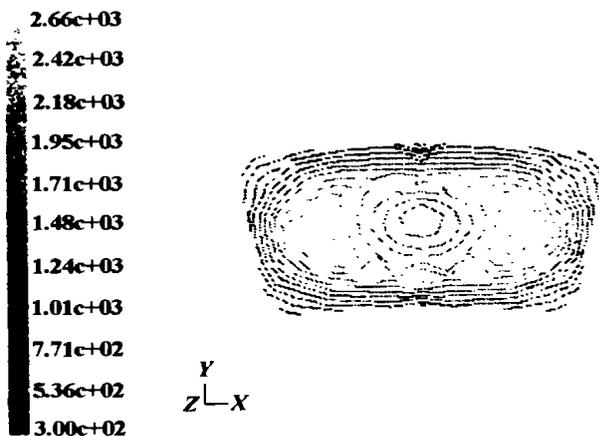


图6 出口截面温度场

参考文献:

- [1] 焦树建. 燃气轮机燃烧室[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [2] 陈义良, 张孝春. 燃烧原理[M]. 北京: 航空工业出版社, 1992.
- [3] 严传俊. 三维贴体坐标下燃烧室流场的数值模拟[J]. 燃烧科学与技术学报, 1995, 1(1): 54-62.
- [4] 赵坚行, 刘全忠. 数值模拟涡轴发动机的燃烧室流场[J]. 燃烧科学与技术学报, 1995, 1(4): 292-298.

(何静芳 编辑)

(接 50 页)

其冷却效果与改进前基本相近。但是,由于每台冷却器的成本低于原润滑系统,与原来的设计相比,每台轴承箱的制造成本均可降低。因此,这种改进设计值得大力推广。

6 经济效益

据通辽电厂反映,改造前平均每年更换油泵、压力表、流量计等附件 50 余次,需人民币 14 万元(12 台磨年检修费)。对轴承箱进行改造后,由于取消了油泵、压力表、流量计等附件,不但每台轴承箱成本

降低了 2 万元,而且每年可节省 14 万元的维修费用。除此以外,改进后磨煤机运行将更加稳定,彻底排除因润滑系统故障而引起的跳磨,大大减轻检修运行人员的劳动强度,效益是十分明显的。此改进方法研制成功后,又对双辽电厂风扇磨进行了改造,同样取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] 蒋宏利. SKF 轴承综合型录[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社 1991.

(复 编辑)

locity excursions in the horizontal flue. The swirl intensity profile of the in-furnace gas along the furnace height has also been analyzed, leading to the determination of a suitable furnace height. The conclusions reached in the present paper can serve as a major guide for achieving a decrease in gas velocity excursions in a horizontal flue and an optimization of the furnace configuration. **Key words:** tangentially fired boiler, swirl intensity, furnace height, flue gas velocity excursion

风扇磨煤机润滑系统的传热机理分析及改进设计 = **An Analysis of the Heat Transfer Mechanism of a Fan Mill Lubrication System and Its Improved Design** [刊, 汉] / Liu Xiao-zhou, Hui Shi-en, Xu Tong-mo (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), Li Zhan-guo (Changchun Electric Power Generation Equipment General Works, Changchun, China, Post Code: 130022), Li Ping (Changchun Electric Power Engineering Technical School, Changchun, China, Post Code: 130021), Jin Yu-feng (Northeast Electric Power Design Institute, Changchun, China, Post Code: 130021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 49 ~ 50, 82

Described in this paper is an improved design scheme for the lubrication system of a fan mill and its relevant calculation method. A comparison of the lubrication system prior to and after the technical modification shows that the modified lubrication system has gained a significant improvement in its performance. **Key words:** lubrication system modification, finned tube cooler, contrast of effectiveness, economic benefit

汽轮发电机密封油系统的仿真数学模型 = **Simulation-based Mathematical Model for the Sealing Oil System of a Turbogenerator** [刊, 汉] / Shi Xiao-ping, Xu Tian-shu (Simulation Center under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 51 ~ 54
This paper expounds the structural design and operating mode of the sealing oil system of a turbogenerator with a detailed description of its simulation-based mathematical model set up for the system. In comparison with traditional mechanism models the simulation-based model recommended in the present paper features simplicity in form, low computation load, enhanced real time function and high fidelity, etc. **Key words:** turbogenerator, sealing oil system, mathematical model, simulation

基于神经网络模型的锅炉广义预测控制 = **A Neural Net Model-based General Predictive Control Strategy for Use on Boilers** [刊, 汉] / Lu Yong, Xu Xiang-dong (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 55 ~ 58, 69

In an effort to rectify deficiencies commonly encountered during the operation of current utility boilers, such as poor control performance, low thermal efficiency, etc., the authors have come up with a neural net model-based general predictive control strategy to improve the relevant control device performance. Through numerous computer simulations the proposed control strategy has been adequately verified. Moreover, an improved Elman network model was utilized to replace the original multi-layer feedforward model in order to simplify model configuration and facilitate on-line real-time calculations. A contrast test of the above two models shows that a satisfactory result in terms of effectiveness has been attained through the use of the improved Elman network model. Finally, on the basis of the simulation results, expounded were the selection of the parameters of the neural net model-based general predictive control and some specific issues in engineering applications. **Key words:** general predictive control (GPC), multi-layer perceptrons, Elman neural network, multi-variable control

汽轮机控制系统对锅炉汽压对象动态特性的影响 = **The Influence of a Steam Turbine Control System on the Dynamic Characteristics of Boiler Steam Pressure as a Controlled Object** [刊, 汉] / Weng Yi-wu, Xu Zhi-qiang, Yu Da-ren, *et al* (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for