

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.11.017

基于静态试验的油动机故障分析

徐光成, 朱双军

(杭州汽轮机股份有限公司, 浙江 杭州 310022)

摘要:针对浙江东部某火电厂两台锅炉引风机(汽轮机)在相同阀位指令下引风机风压相差较大,导致两台锅炉引风机不能并列运行(通过实际观察发现是汽轮机的油动机运行过程中上、下行程偏差大)的问题,对油动机的反馈板,错油门套筒及滑阀,油动机的密封圈及油动机的相关连接部件等方面进行了相关检查和分析,并对油动机的反馈板,油动机的密封圈及油动机的相关连接部件等方面提出了相关改进方案。针对这些方案采用了静态实验方法,对汽轮机的油动机运行过程中上、下行程值进行了多次测量与比对,并对所测量的数据进行了相应的分析。研究结果表明,引起汽轮机油动机运行过程中上、下行程偏差大的最主要原因是使用了不合格的密封圈,造成微量泄油;装载运行后,证实了解决方案的有效性。

关键词:油动机;密封圈;错油门

中图分类号:TH165+.3

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)11-1376-04

Fault analysis of servomotor on static test

XU Guang-cheng, ZHU Shuan-jun

(Hangzhou Steam Turbine Company Limited, Hangzhou 310022, China)

Abstract: Aiming at the large difference of outlet air pressure between two boiler draft fans of a power plant in the east of Zhejiang which are under the same valve setpoint, resulting in that the two boiler draft fans can not be parallel operation, through the practical observation, it was found that the deviation of the stroke was a big problem in the process of the servomotor of the steam turbine. After carrying out the related inspection and analysis of feedback board, pilot valve, slide-piston, sealing ring and connection piece of the servomotor, then related improvement plans were proposed. Aiming at these schemes. The static test method was used to measure and compare the stroke values of the steam turbine's servomotor, and to analyse the corresponding measured data. The results indicate that the main reason for the deviation of the stroke during the operation of the turbine is the use of the unqualified sealing ring which can cause the trace oil leakage. After the loading operation, the effectiveness of the solution is confirmed.

Key words: servomotor; sealing ring; pilot valve

0 引言

油动机是汽轮机调节保安系统的执行机构,它接受控制系统发出的指令,操作汽轮机阀门的开启和关闭,从而达到控制汽轮机转速、负荷以及保护机组安全的目的^[1]。油动机活塞在上下的运动过程中分为局部节流损失、锐边节流、缝隙节流等阶段^[2]。国内外对油动机的密封结构都有较深入的研究。武汉工程大学的徐红波、喻九阳利用 ANSYS 有限元分析软件,对 O 型圈在不同压缩率、不同流体压力下的密封性能进行

过研究,并对密封圈和沟槽尺寸进行了优化,指出压缩率偏低是影响泄露的主要原因^[3]。对密封结构的有限元仿真分析属于对于接触问题的非线性仿真分析。各国学者提出了很多关于非线性接触问题的有限元算法,工程上常用的算法有直接约束法、罚单元法等^[4-5]。

本研究以某电厂对汽轮机拖动引风机机组进行检修过后开机,发现两台汽轮机在相同阀位指令下引风机风压相差较大,导致两台锅炉引风机不能并列运行,针对调门(油动机)的上下行程开度不一致的问题,通过对油动机和错油门的相关检查分析及静态试验解决该故障。

收稿日期:2016-06-12

作者简介:徐光成(1980-),男,浙江杭州人,工程师,主要从事现场汽轮机安装、调试、问题处理方面的研究。E-mail:xugc@htc.cn

1 问题现象

某电厂由汽轮机拖动引风机机组,经过大修后重新开机,发现大修过的机组在同样运行参数情况下,该机组与另一台未停机检修的机组阀门开度相差很大,导致两台汽轮机无法正常并网运行。停机检查原因,在给指令时所对应油动机升程及阀位开度行程的过程中基本上与设计阀门特性曲线能对应上。但在指令从 100% 往 0% 的方向给的时候,油动机行程及阀位开度在高指令情况下与设计阀门特性曲线对应不起来,并且与指令从 0% 往 100% 的方向给指令的情况下,在同一指令处上下行程油动机行程偏差较大。该台油动机的参数为:缸径为 200 mm,有效行程是 135 mm 阻尼行程是 10 mm。活塞缸与活塞的密封材料是聚四氟乙烯。做静态试验时测量并记录油动机上、下行程数据如表 1 所示。

表 1 静态试验油动机上、下行程测量值

指令	二次油压/ MPa	油动机上 行程 H/mm	油动机下 行程 H/mm	上、下行程的 偏差值/mm
0%	0.150	183.5	183.5	0
10%	0.170	177.3	177.0	0.3
20%	0.195	170.0	170.0	0
30%	0.225	163.3	163.0	0.3
40%	0.285	150.2	149.5	0.7
50%	0.315	142.5	137.2	5.3
60%	0.345	136.5	130.5	6.0
70%	0.360	133.3	125.6	7.7
80%	0.380	127.5	118.0	9.5
85%	0.400	121.2	111.5	9.7
90%	0.415	115.5	107.0	8.5
95%	0.435	107.0	101.7	5.3
100%	0.450	99.5	99.5	0

H 值测量部位如图 1 所示。

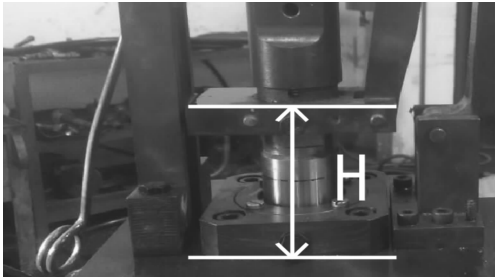


图 1 H 值的测量部位

油动机上行程是指中控室给指令信号(阀门开度信号),从 0 开度到阀门全开的指令,油动机往下移动各指令点所对应的值。相反油动机下行程是指中控室给指令信号使阀门从 100% 开度向全关的方向,油动机在各指令点所对应的值。中控室给指令信号(4 mA

~20 mA),通过电液转换器把电流信号转换成二次油压信号(0.15 MPa ~ 0.45 MPa),控制着油动机行程,油动机通过三角架与阀门相连接,进而控制着阀门的开度。从表 1 可看出上、下行程过程中同一个指令点之间最大偏差已达到 9.7 mm 而设计要求偏差不超过 2 mm。已远远超过设计要求之内。此原因造成两台机在同参数情况下,阀门开度偏差大,导致无法并列运行。

2 油动机结构和工作原理介绍

油动机是调节汽阀的执行机构,它将由电液转换器输入的二次油信号转换为有足够作功能力的行程输出以操纵调节阀,控制汽轮机进汽^[6]。油动机是断流双作用往复式油动机,以汽轮机油为工作介质,动力油用 0.6 Mpa ~ 0.85 Mpa 的压力油。

油动机结构图如图 2 所示。

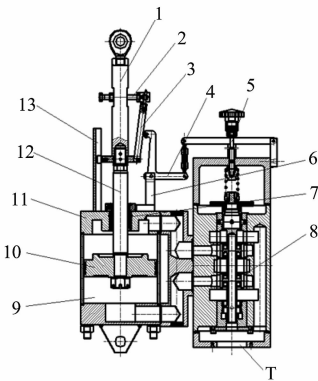


图 2 油动机结构图

- 1—拉杆;2—调节螺栓;3—反馈板;4—变角杠杆;
5—调节螺钉;6—弯角杠杆支座;7—密封组合件;8—错油门;9—油缸壳体;活塞;11—油缸盖;12—活塞杆;13—导轨;T—回油

油动机主要由油缸、错油门、连接体和反馈机构组成。错油门(8)通过连接体(7)与油缸(5)连接在一起,错油门与油缸之间的油路由连接体沟通,油路接口处装有 O 形密封圈。连接体有铸造和锻件加工两种,图示为铸件形式。油缸由底座、筒体、缸盖、活塞、活塞杆等构成。筒体与底座、缸盖之间装有 O 形密封圈,它们由 4 只长螺栓组装在一起。活塞配有填充聚四氟乙烯的专用活塞环。活塞动作时在接近上死点处有 10 mm 的阻尼区,用以减小活塞的惯性力和载荷力并降低其动作速度。缸盖上装有活塞杆密封组件,顶部配装活塞杆导轨及弯角杠杆支座。油缸靠底座下部双耳环与托架上的关节轴承、销轴连接并支撑在托架上。在油缸活塞杆(4)上端有拉杆(1)和杆端关节轴承(13),通过(13)使油缸与调节汽阀杠杆相连。油缸的开度控制着汽轮机阀门的开度。

3 问题分析

笔者从以上数据和错油门及油动机工作原理来分析,油动机通过三角架连着阀门,油动机的行程(开度)决定的汽轮机阀门的开度。指令从低往高给和从高往低给,二次油压基本不变,这可以排除信号及电液转换器是没问题的。从以上情况来看,初步问题出在速关组合件后面的系统(即油动机和油动机所连接的阀门及连接件)。油动机与阀门三角架滑块间隙不合适,过大或者偏小造成不同心或卡塞,包括油动机连接杆,调门提升拉杆等其他连接装置^[7]。现场把油动机与阀门脱开,中控室内给指令信号,油动机故障并未消除,说明并不是因油动机所连接的阀门及连接件所引起的,基本上可判定出现问题的地方是在油动机及错油门本身这部分^[8]。

3.1 油动机故障原因

(1)错油门内的 3 个套筒错位及错油门滑阀卡涩等原因。

(2)错油门上的弹簧上座顶针孔端部与顶针配合不好,油动机在一定的开度范围内,顶针在顶针孔内移位,造成油动机内部油压的变化,进而引起油动机在上、下运动过程中偏差大^[9]。错油门上的弹簧随着几年的运行弹性不足,如调节弹簧失去弹性作用,由于弹簧是用于调节滑阀的位置,并精确地将其定位与反馈板一起传递压力,以平衡二次油压,当弹簧失去弹性,则无法平衡各部件载荷关系,油动机的所处位置将出现偏差^[10]。

(3)二次油管路上的单向阻尼阀损坏/装反或堵住,在不同的油压的工况下,造成进油或回油油量微量的波动^[11]。

(4)反馈板的线性位置是否有所变化,二次油压与油动机活塞杆行程的对应关系与反馈板的线性有关(反馈板与弯角杠杆上滚柱轴承接触点的轨迹)。

(5)油动机油缸内密封性不好导致泄油。

3.2 油动机故障检查

(1)笔者拆检错油门检查套筒及滑阀,取出滑阀并清洗滑阀,检查外观是否有划痕及拉伤。用外径千分尺及内径量表测量其配合间隙是否达到要求,滑阀与套筒之间的间隙为 0.05 mm~0.07 mm。清洗错油门本体,检查套筒,将滑阀放入套筒后,旋转阀体及拉滑阀手感应无卡涩。检查错油门滑阀油路 3 个切向喷油口是否有异物堵住,用压缩空气吹扫,确保压力油能从喷油孔切向喷出。并检查喷油转动盘与阀芯的结合部位是否有松动。检查套筒与壳体之间固定用的骑缝螺钉有松动现象。

(2)笔者检查了顶针及顶针座里面是否磨损及顶针在顶针座内的垂直度等情况。检查错油门的弹簧有无裂纹并测其弹性及检查了弹簧的压缩量(即弹簧的刚

度),在试验台上多次调整弹簧的预紧圈数及更换新的弹簧,均未得到明显的改善。检查推力球轴承,轴承转动是否灵活,是否有麻点或凹坑,转动盘以及弹簧座与推力轴承的滚动体配合处也应无麻点及凹坑等缺陷。

(3)拆下单向阻尼阀并用压缩空气吹扫,里面并没有脏东西。

(4)根据调节气阀特性,反馈板型线有直线及特定曲线两种。该机组的反馈板分成 3 个线性段而非一条线性段。仔细查看反馈板上是否有凹凸点及与反馈板相接触的滚轮是否有变形现象,肉眼查看并没有明显的缺陷。做静态试验中,利用拉杆上的调节螺栓改变反馈板安装角度的方法加以修正并相应调整错油门顶部的调节螺钉来配合油动机的起始位置。

(5)对油动机进行拆检后发现活塞盘装反,从结构及原理来判断,活塞盘装反只影响总行程,因油动机总行程远远大于阀门全开行程,所以该活塞盘装反并不引起上下行程偏差大的现象。油动机拆检后,活塞盘已经按正确的安装方式安装后所拍的照片如图 3 所示。

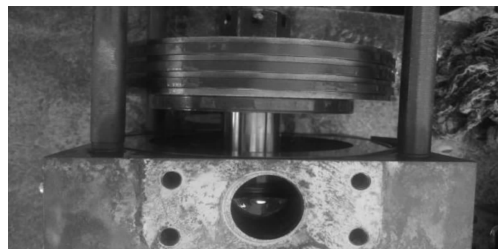


图 3 油动机拆检图

笔者仔细检查了活塞及油缸内壁,并没有明显磨损的痕迹,但发现活塞盘上的聚四氟乙烯密封圈的高度稍微低于活塞盘,本研究更换了该聚四氟乙烯密封圈并对拆下的密封圈进行了测量比较,该密封圈比原厂原装的密封圈小 0.05 mm 的厚度。新的密封圈装上下上试验台做静态试验。

4 实验与结果分析

实验方法:错油门的二次油压直接手动调整,按故障现象的几个油压点为给定值,测量油动机上下行程的行程值,反复做了几次,考虑给定油压误差及测量误差(采用游标卡尺测量)。

静态试验数据如表 2 所示。

从表 2 的实验结果可看出油动机上下行程运行过程中同一个点之间最大偏差已只有 1.0 mm,而设计要求偏差不得超过 2 mm。符合设计要求。油动机上下行程运动过程中基本上一致并与设计的阀门特性曲线一致。返回电厂连阀门做实际静态试验回路,来来回回做了好几次都符合设计要求,油动机的上下行程偏差都在 2 mm 之内。问题得到解决,开机后,两台机在同工况的情况啊,阀门开度偏差不大,成功并网并带高负荷运行。问题得到的彻底解决!从前面油动机的工作

原理和处理及实验情况来分析,活塞盘上的不合格的密封圈是主要原因。

表 2 静态试验油动机上下行程测量值

指令	二次油压 /MPa	油动机升 行程 H/mm	油动机降 行程 H/mm	升降行程的 偏差值/mm
0%	0.150	184	184	0.0
10%	0.170	176.5	177.0	0.5
20%	0.195	169.5	170.0	0.5
30%	0.225	163.5	163.0	0.5
40%	0.285	150.5	150.5	0.0
50%	0.315	144.0	143.0	1.0
60%	0.345	137.0	137.0	0.0
70%	0.360	134.0	133.0	1.0
80%	0.380	126.0	125.5	0.5
85%	0.400	121.0	121.0	0.0
90%	0.415	116.0	116.0	0.0
95%	0.435	105.0	106.0	1.0
100%	0.450	98	98.5	0.5

在稳定工况下作用在活塞上的力应该是平衡的,用下式^[12]表示:

$$F = A1 P0 \text{---} A2 Pb = R \tag{1}$$

式中: R —阻力(蒸汽作用力、阀重力、弹簧力、摩擦力); $A1$ —压力油作用面积; $A2$ —排油压力 Pb 作用面积。

从式(1)可看出不管油动机是从关闭到开的状态还是从全开到关闭方向过程中,在同一状态下油动机的理论停留位置应该一致的。但从表 1 来看,油动机上下行程偏差大的区间主要停留在 50% - 95% 区间段。当活塞盘上的密封圈不合格或安装不当时在油动机活塞盘上下油压的作用下,压力油大量从活塞盘下部进入上部,引起上下油压差减少,活塞盘上的力平衡被破坏,油动机就产生滑动现象。随着压力油的泄露,油压差减少, $F < R$,虽然弹簧力相应减少,但摩擦作用力的增加值大于(或小于)弹簧力的减少值,使活塞上产生向上或向下的作用力,造成活塞的下移或上移,无法在设计的参数位置停留。更何况在 50% - 95% 区间是处在反馈板的线性切换区间,假如刚落在线性切换点上,同时油动机内部有油压泄漏的话,油动机在上下行程过程中所停留位置点就更易变化。油动机活塞杠作为往复式运动结构并且是汽轮机的执行机构,油动机的稳定运行至关重要。油动机密封结构发展多样化,复杂化,国内外研究人员对往复密封都有所研究,近年来,美国佐治亚理工学院的 AZam Thatte 和 Richard F. salant 建立了瞬态数值模型,说明了运动过程中

的润滑膜厚、流体压力分布、接触压力,作用在杠上的摩擦力等因素对密封性能的影响^[13]。根据韩传军、张杰、黄岗等人对星型密封圈进行的有限元仿真分析,星型密封圈比 O 型密封圈在密封性上及使用上都具有较大的提高^[14]。

5 结束语

本研究介绍了油动机的基本结构,并对油动机上、下行程偏差大的故障进行相关分析和静态试验。研究表明:造成该故障的主要原因是使用的密封圈不合格或安装不当导致内部微量泄油,因非外部漏油很难发现及检查出来。建议采用全直线线性结构而非分成几个线性段,对油动机的稳定性更牢靠。密封圈可根据结构选择密封性更可靠,使用寿命更强的星型密封圈。

参考文献(References):

[1] 张 静,汤继星,刘峰涛. 一种低压单侧伺服油动机的设计[J]. 机械设计与制造工程. 2013,42(10):83-87.

[2] 万保中. 汽轮机组高调油动机系统快速关闭设计与实验研究[J]. 液压技术,2013,12(22):84-88.

[3] 徐洪波,喻九阳. 往复密封元件的密封的性能研究[D]. 武汉工程大学机电工程学院,2007.

[4] 刘占军,王哲峰. X 形变截面优化橡胶密封圈比较应力有限元分析[J]. 润滑与密封,2010,35(1):56-68.

[5] 陆婷婷,王维民. 橡胶 O 形密封圈研究发展综述[J]. 液压气动与密封,2014,34(10):6-11.

[6] 汽轮机通用使用说明书[M]. 杭州:杭州汽轮机股份有限公司,2013.

[7] 罗建辉. C25-4. 9/9. 8 汽轮机高压调阀故障分析[J]. 科技信息,2010,23(20). J0098-0098.

[8] 刘 江,时志刚,赵少华等. 某正车油动机油动机故障诊断与处理. 热能动力工程[J]. 2012. 1(27):24-27.

[9] 周 斌. 浅谈汽轮机调速器执行机构故障检修调试[J]. 通用机械. 2009,2(8):127-130.

[10] 杨根山. 汽轮机油动机及管路振动分析与处理[J]. 中国设备工程,2006,27(8):18-22.

[11] 郭 振,李安东,张忠良. 汽轮机危急遮断油门动作故障分析与处理[J]. 河南冶金,2015,23(3):22-24.

[12] 丁怀高. 汽轮机油动机活塞密封套脱漏原因分析[J]. 华电技术,2012,9(1):33-34.

[13] THATTE A, SALANT. R. F. Transient EHL Analysis An Elastomeric Hydraulic Seal[J]. TribologyInternational, 2009,42(10):1424-1432.

[14] 韩传军,张 杰,黄岗等. 往复密封中星形密封圈的密封性能研究[J]. 润滑与密封,2012,37(9):43-47.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

徐光成,朱双军. 基于静态试验的油动机故障分析[J]. 机电工程,2016,33(11):1376 - 1379.

XU Guang-cheng, ZHU Shuan-jun. Fault analysis of servomotor on static test[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(11):1376 - 1379.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>