

某核电站冷油器振动分析

东方汽轮机有限公司 陶泓 兰述

摘要: 本文根据某核电站冷油器振动问题进行测量分析,排除冷油器润滑油中含有气泡、冷油器与冷却水管道或润滑油共振等原因,认为冷油器冷却水出口节流孔板阻碍冷却水流动,诱发管线振动,是造成冷油器振动根本原因,并提出合理的解决措施,以供参考。

关键词: 冷油器; 振动; 节流孔板

DOI: 10.12433/zgkjtz.20232545

润滑油系统是汽轮机发电机组重要的辅助系统,在汽轮发电机组运行过程中,由于轴系和轴瓦之间的摩擦,会产生大量的热量。润滑油系统的主要作用是通过润滑油带走轴系摩擦产生的热量,同时在轴颈和轴瓦之间建立润滑油膜,减小摩擦系数,降低机械损失,确保汽轮发电机组的轴系安全运行。

冷油器是汽轮机润滑油系统中控制油温的主要设备,用于带走轴系摩擦产生的热量。冷油器振动会导致冷油器正常运行受到干扰。长时间处在振动环境下工作,会严重损害冷油器结构,缩短使用寿命,并影响换热效率。当冷油器换热效率降低时,会使进入轴承的润滑油温度升高,降低润滑油的冷却作用,提高轴承温度。同时,润滑油温度过高会导致润滑油黏稠度降低,使轴承中的润滑油油楔的刚性和厚度降低,使油膜承载力减小,最终使油楔破裂。油楔破裂则会导致轴承摩擦瞬间增大,使轴承温度直线上升,甚至发生轴承咬合的现象,严重影响汽轮机的安全运行。冷油器振动的影响不仅关于设备本身,还影响整个润滑油系统、汽轮机组的运行安全,是不能忽视重要问题。

针对冷油器振动对汽轮机安全可靠运行可能产生的重大影响,本文对某核电站冷油器振动问题进行现场测量和评估,并详细分析测量数据,提出解决措施,这对冷油器的现场安装、布置具有一定的借鉴意义。

一、现场测量

(一)冷油器

根据系统设计和设备布置的需求,冷油器选用板式冷油器或管式冷油器。其中,板式冷油器结构紧凑、操作灵活,换热系数高,适应负荷变化能力强,在电站润滑油系统中具有广泛应用。某核电站冷油器为板式冷油器,冷油器长 3133mm、宽 877mm、高 2120mm,板片换热面积约 570m²,板式换热器头板侧通过法兰分别与冷却水进出口管道、润滑油进出口管道连接,4根连接管道的工程直径均为 DN 300。板式换热器冷却水接口同侧布置,下侧为进口,上侧为出口,而润滑油进口则在上侧,出口在下侧,润滑油和冷却水在板式换热器内部交叉逆流换热。

鉴于现场设备、管道等已安装完成,整体设备布置较紧凑,部分位置测量空间受到限制,不易测量。因此,现场选取典型位置测量冷油器振动,选取的测量位置为冷油器头板、尾板、立柱中部位置。现场采用振动测量仪进行测量,具体测点位置如图 1 所示。由于冷油器 Z 方向振动不易测量,且现场并未观察到 Z 方向振动,并未测量 Z 方向,仅测量冷油器振动比较明显的横向振动和轴向振动。横向振动测量坐标轴 Y 方向水平振动,轴向振动给测量坐标轴 X 方向前后振动。

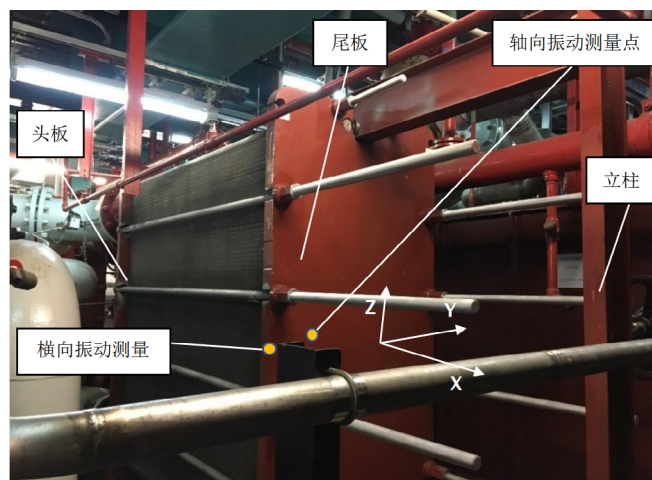


图1 冷油器振动测量位置

(二)测量数据

现场对汽轮机转速分别为 200r/min 和 1500r/min 的冷油器振动速度和振幅进行测量,冷油器设备振动的过程中,冷油器振类型为非谐周期振动,即冷油器振动像波浪一样,有周期性规律,但周期振幅不同。冷油器每个周期开始时振动较剧烈,振幅较大,然后振幅逐步衰减,再次振动剧烈,如此周期性产生,由于在每个周期内产生的振幅有时剧烈、有时较小,为了准确测量,振动测量记录数据为 3 个振动周期内的最大值,能准确反映冷油器的振动情况。现场测量具体数据如表 1 所示。

表1 冷油器振动测量数据

位置	头板		尾板		立柱	
方向	轴向	横向	轴向	横向	轴向	横向
200r/min						
振速/mm/s	1.0	0.7	1.0	1.5	1.4	2.1
振幅/ μm	23	23	27	30	26	81
1500r/min						
振速/mm/s	1.3	1.0	1.2	1.9	3.0	5.1
振幅/ μm	22	30	26	105	35	175

从表中看出,冷油器头版、尾版和立柱在汽轮机转速为 200r/min 时振动较弱,最大振振动为尾板的横向振动,振速为 1.5 mm/s,振幅为 30 μm 。振动较大的是立柱部分,横向振动振速为 2.1 mm/s,振幅为 81 μm ,均高于头板和尾板的振动。

当汽轮机转速上升到 1500 r/min 额定转速时,冷油器振动较大,现场观测能明显感觉到冷油器尾板和立柱的强烈振动,而头板的振动依然较弱,主要原因是头板与润滑油、冷却水进出口管道法兰连接具有一定的支撑作用,缓和了冷油器头板振动。而冷油器尾板和立柱除了底部安装固定的地脚螺栓外,上部区域处于悬杆状态,容易造成大幅振动。

表2 冷油器振动比值 (1500r/min比200r/min)

位置	头板		尾板		立柱	
方向	轴向	横向	轴向	横向	轴向	横向
振速比/%	130	142	120	126	214	243
振幅比/%	96	130	96	350	135	216

振速比、振幅比为表 2 中 1500 r/min 时冷油器振动值除以 200 r/min 时相对应冷油器振动值得到的百分比值,从表 3 中看出,虽然冷油器头板振动较小,但振动随转速增加的趋势和尾板、立柱基本一致,轴向、横向振速均有增加。而轴向振幅基本维持少量变化,主要原因是连接管道限制了头板、尾板的振动振幅,而

立柱的轴向振幅有所增加,从侧面说明了立柱受到的管道限制较小。

二、振动原因及分析

针对冷油器振动情况,分析已有数据,并通过监测现场冷油器振动,找到造成冷油器振动的原因。

(一)冷油器润滑油中含有气泡

当含有气泡的润滑油在冷油器中流动时,一方面,容易造成流量不连续;另一方面,气泡在冷油器中容易破裂时,两方面共同作用会导致润滑油压力波动,引成冷油器振动。现场通过打开冷油器油测排污阀排气 1 min,充分释放润滑油中可能含有的气体。现场观察发现润滑油从排油口流出均匀,并无气泡。关闭冷油器油侧排污阀后重新测量汽轮机转速 1500 r/min 冷油器振动较大的立柱位置,轴向振速为 4.1 mm/s,横向振速为 4.1 mm/s,轴向振幅 41 μm ,横向振幅 159 μm 。从现场测量数据对比分析中未发现排气后振动情况有所改善,与排气前 1500 r/min 冷油器立柱位置相比,立柱的轴向振速增加 36%,轴向振幅增加 17%,横向振速减少 20%,横向振幅减少 10%,综合考虑,排气前后冷油器立柱位置振动数据无明显变化。因此,可以排除冷油器润滑油中含气泡造成冷油器振动。

(二)冷油器共振

冷油器自然频率接近润滑油或冷却水流动频率时会形成共振,提高振动频率,因此造成冷油器振动。现场通过双人共同手扶支撑冷油器,施加支撑改变冷油器的固有频率,重新测量汽轮机转速 1500 r/min 冷油器振动较大的立柱位置,立柱测量数据是轴向振速为 2.9 mm/s,横向振速为 5.2 mm/s,轴向振幅 32 μm ,横向振幅 125 μm 。测量数据显示,通过人为改变冷油器固有频率后振动情况未有明显改变,与手扶支撑前 1500 r/min 冷油器立柱位置相比,立柱的轴向振速减少 4%,轴向振幅降低 9%,横向振速增加 2%,横向振幅减少 29%,手扶支撑前后冷油器立柱位置振动数据无明显变化。因此,排除冷油器与润滑油或冷却水共振原因造成的冷油器振动。

(三)管道振动

润滑油管道和冷却水管道通过法兰与冷油器刚性连接,且润滑油管道和冷却水管道直径均较大,由于管道振动带动冷油器振动。现场测量汽轮机转速 1500 r/min 冷油器连接管道振动,由于冷油器管道 X 方向不易测量,主要针对管道 Y 方向横向振动进行测量,测量点为冷油器出口 20 cm 左右的管道横向水平中心位置,现场测量数据如表 3 所示。

表3 冷油器连接管道振动测量数据 (Y方向, 1500r/min)

管道名称	冷油器上部润滑油入口	冷油器下部润滑油出口	冷油器上部冷却水出口	冷油器下部冷却水入口
振速/mm/s	1.6	0.7	12.2	0.9
振幅/ μm	97	21	439	61

冷油器上部冷却水出口管道振动较剧烈, 振速达 12.2 mm/s, 振幅达 439 μm 。而其他连接处的管道振动较微弱, 冷油器下部润滑油出口管道的振速和振幅均比冷油器头板、尾板和立柱的横向振动低, 冷油器上部润滑油入口、冷油器下部冷却水入口的管道振速、振幅与冷油器头板、尾板和立柱的横向振动数值基本相当, 而冷油器上部冷却水出口管道的振速是冷油器最大振动位置立柱横向振速的 2.4 倍, 冷油器上部冷却水出口管道的振幅是冷油器最大振动位置立柱横向振幅的 2.5 倍, 从现场振动测量数据分析, 冷却水出口管道振动可能是造成冷油器振动的原因。

(四) 管道振动分析及解决措施

现场冷油器冷却水出口管道的布置方式可以看出, 冷油器出口管道处连续弯头, 在冷油器冷却水出口管道连续弯头处存在节流孔板, 会造成流量不稳定, 加大节流孔板前压力, 形成类似水锤效应。当流体通过后, 压力下降又继续上升, 形成波浪式的流量波动。此时, 冷却水对管道的激振力, 叠加冷却水、管道和孔板的相互作用引起了自激振动, 其机理较复杂, 是流体与振动物体交互作用的结果, 会造成冷却水管道振动。

现场在节流孔板位置能听到流体流过节流孔板时一浪一浪的轰鸣声, 进一步证明出口节流孔板阻碍了流体流动, 影响冷油器内部冷却水流体流畅流动, 且弯头处管道无支吊架固定支撑减缓冷却水、管道、孔板相互作用的激振力, 会降低管道振动, 导致冷油器振动。

针对冷油器振动的原因, 可采取以下解决措施:

第一, 改变节流孔板位置, 把节流孔板改到水平段, 确保节流孔板前后有不小于 5 倍管径的直管段, 减少节流孔板造成流量的不稳定性和水锤效应。

第二, 取消节流孔板, 改用阀门控制冷油器进出口冷却水量。尽量合理选用通径较大的阀门, 保证在额定运行工况下阀门处于全开状态, 减小阀门流阻的影响, 在低流量下, 通过阀门也可以比较平稳地控制流量, 避免节流孔板的不可调性。

第三, 对冷却水出口管道增加支吊架固定。如果现场管道不便于调节改造, 可以在冷却水出口管道增加固定支吊架, 减少管线振动和冷油器振动。不过增加管道支吊架需要有地方生根支吊架, 因此需要结合现场情况综合考虑。

第四, 冷油器整体添加支撑, 此方法较容易实施的。此方案改动较小, 不易受现场条件限制, 仅需要在冷油器周围添加支撑, 固定冷油器, 减缓冷油器振动。

需要说明的是, 上述改造措施并非需要全部执行, 要综合考虑改造成本和实施效果。如果机组不具备停机大修的改造时间窗口, 可先实施从外部增加支撑的方式, 改善冷油器的振动, 并根据实施效果判断是否需要开展进一步的孔板改造等工作。

三、结语

本文通过对现场冷油器振动数据的实际测量, 经过详细分析, 排除冷油器润滑油中含有气泡、冷油器与冷却水管道或润滑油共振等原因, 找到冷油器振动的真正原因。冷油器冷却水出口节流孔板阻碍冷却水流动, 诱发管线振动, 造成冷油器振动。最后, 提出合理解决措施, 确保冷油器的安全可靠运行, 为冷油器的现场安装、布置打好基础。

参考文献:

- [1] 吴洪枝, 赵龙, 张亚楠, 等. 650MW 汽轮机轴承温度偏高原因分析与管理[J]. 设备管理与维修, 2016(11): 27-28.
- [2] 王彤. 板冷水泵切换引发润滑油压波动分析[J]. 黑龙江科技信息, 2019(10): 25-26.
- [3] 于大江. 汽轮机油冷却器的性能评价与研究[D]. 济南: 山东大学, 2004.

作者简介: 陶泓 (1979), 男, 四川省德阳市人, 工程硕士, 高级工程师, 从事核电汽轮机设计工作。