

核电厂发电机定子冷却水泵振动超标分析及改造技术

尤凌祎

(辽宁红沿河核电有限公司, 辽宁 大连 116000)

摘 要:某核电厂机组运行期间,部分发电机定子冷却水泵多次出现振动偏高,超出运行标准,现场处理合格后运转一段时间会再次复现。针对这一问题,采用现场排查与振动频谱分析相结合的方法,对冷却泵的振动问题进行系统分析,发现电机振动多次超标的主要原因是泵组整体框架基础刚性薄弱,变形后导致机组安装平面变化所致,另外泵安装和运行中产生应力不均,经一段时间运行后导致结构变形,故出现调整合格一段时间后又超标。针对此问题提出了基础焊接加固改造结合基础虚角优化方法,成功解决了该类泵组振动频繁超标问题。

关键词:电机;振动超标;刚性;加固;虚角优化

中图分类号:TM31 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)04-0207-03

Analysis of Vibration of Cooling Water Pump for Generator Stator in Nuclear Power Plant and Improvment on Its Technique

YOU Lingyi

(Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co., Ltd., Dalian 116000, China)

Abstract: The vibration of some cooling water pumps for the generator stator occurs for times during the operation of nuclear power plant units, it is over the operating standard. After the on-site treatment, the operation is smooth for a time, and then the vibration occurs again. Aiming at this problem, this paper uses a combination of on-site investigation and vibration spectrum analysis to systematically analyze the cause of the cooling pump vibration. It is found that rigidity is a lack in the foundation of the pump frame, thus causing the motor vibration. As a result, the uneven stress of other pumps occurs during installation and operation, it results in the structural deformation after re-operation, and it operates normally for a time and then it exceeds the standard. Aiming at this problem, this paper proposes a method of basic welding reinforcement and basic imaginary angle optimization, which is used to solve the problem that the vibration exceeds the constant.

Keywords: motor; excessive vibration; rigidity; reinforcement; virtual angle optimization

1 定子冷却系统及振动

核电厂发电机定子冷却水系统(GST)的功能是通过一个闭式低电导率水的循环回路带走发电机定子线圈在带负荷运行时产生的热量。定子冷却水由水泵 GST101/201PO 提供循环动力。正常运行时 1 台工作,1 台备用。当检测到流量低于 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ 或者工作泵电源跳闸信号时,备用泵自动启动并投入运行。自该核电厂各机组调试至今,各台机组 GST 系统的电机或泵端多次出现振动超标现象。

GST 泵日常运行期间一直存在振动频繁超标现象,前期在未改变设备本身结构的情况下,进行了基础虚角增加垫片、调整轴承室支架等诸多在线设施的改造工作,均未能从根本上解决设备振动问题。现场调整合格后运转一段时间后振动偏高现象会再次出现。为确定振动原因,专门开展了一系列查找原因的验证试验,同时结合电厂设备的现场实际情况,制定了电机振动超标处理方案。

GST 系统 2 台 100%容量的定子水电动泵都为离心泵,电压 380 V,功率 75 kW,转速 $2\,980 \text{ r/min}$ 。泵转子由 2 个深沟球轴承支撑。支撑方式为悬臂式。轴承室下部有三脚架支撑。弹性柱销联轴器、电机和泵,通过中间框架坐落在基础台板上。改造前,该核电厂 GST 泵振动超标情况如表 1 所示,表 1 中 MBD-H 表示电机驱动端水平向,PBD-H 表示泵驱动端水平向。设备简图及现场布置图见图 1 和图 2。

表 1 GST 系统振动超标数据 单位:mm/s

设备名称	故障时间	PBD-H 最大振幅	振动限值	
			电机	泵
3GST201PO	2017-11-16	4.1		
	2017-06-01	5.3		
	2017-04-11	3.0	报警值 2.8	报警值 4.5
	2017-04-08	5.1	停机值 4.5	停机值 7.1
	2016-07-28	4.8		
	2016-06-16	4.2		
	2016-05-08	5.2		

作者简介:尤凌祎(1983—)男,河南商丘人,工程师,本科,主要从事振动状态监测和故障诊断工作。

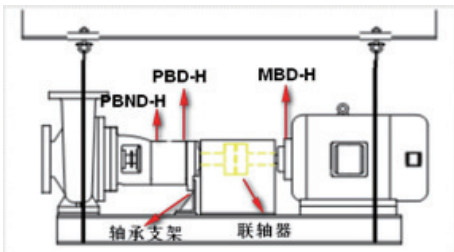


图1 设备简图

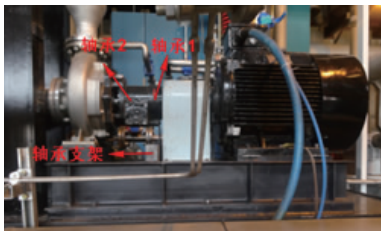


图2 设备现场布置图

2 振动信号及原因分析

振动出现异常后,对该泵进行了数据采集和频谱分析,测点见图1中的标注,频谱如图3所示。振动超标方向频谱成分主要为49.68 Hz和99.46 Hz,分别为工频(1X)和二倍频(2X)成分,其中49.68 Hz占主要成分(约80%)。结合振动产生机理和前期经验,对泵振动频繁超标问题进行现场调整和振动分析。

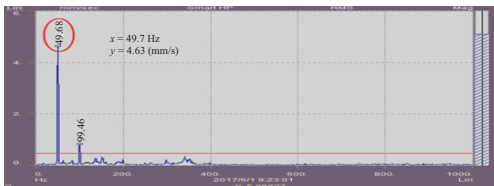


图3 3GST201PO 泵端水平向振动频谱图

遵循从易到难的处理原则对该泵进行了相关在线调整分析:

1)基础松动。在设备不停机的情况下,对电机、泵基础螺栓及基础框架螺栓依次进行力矩校验,未见异常,基础松动因素可以排除。

2)基础框架变形。通过塞尺对框架基础与台板结合面进行全面测量,发现框架两紧固螺栓中间区域存在0.2 mm间隙,且框架为整体框架,长度1 480 mm,两边肋板偏薄(8 mm),且分布不合理,长期处于高振动运行,导致基础框架两头存在明显翘曲变形,加剧泵体振动。具体翘曲变形见图4。

3)基础虚角垫片调整。该泵前期曾出现过振动超标现象,通过对框架基础增加垫片将振动降至合理区域。结合经验反馈在线对泵组框架基础虚角处进行了垫片调整,泵端水平向振动有小幅下降(调整前4.1 mm/s,调整后3.35 mm/s)。

4)泵轴承室支架应力。在线对泵轴承室下部支架紧

固螺栓进行依次松紧调整,以释放应力。泵水平向振动变化不明显,该因素可基本排除。

5)对中检查。借机组临停窗口,停机对联轴器本体及轴系对中进行复查,发现对中偏差较大,电机较泵高0.285 mm,电机较泵偏左0.23 mm;张口0.13 mm(标准为0.05 mm),且联轴器柱销存在不同程度的磨损。联轴器柱销磨损见图5。



图4 框架基础翘曲变形



图5 联轴器柱销磨损

表2给出了调整与测试的分析结果。

表2 GST 泵频繁振动高可能存在的故障模式及可能性分析^[1]

故障原因	问题分析	可能性
不平衡	频谱中1倍频成分突出,但框架基础调整后振动下降	低
不对中	对比历史检修数据,对中多次超标;频谱中存在1、2、3倍频,对中调整后仍存在振动频繁超标现象	高
基础松动	频谱中1倍频成分突出,基础个别位置振动偏高,检查基础螺栓力矩,无异常	低
框架基础刚度差,局部存在变形和虚角	检查框架基础与台板结合不严,局部存在缝隙,增加垫片振动下降明显,同类框架基础设备振动正常	高
泵轴承室支架存在热应力	频谱中1倍频成分突出,支架存在应力影响轴承间隙,安装时按照标准力矩紧固	中
泵连接管道法兰应力	管道存在错口或张口现象,引起泵体承受额外载荷,并导致轴系对中变化,引起振动上涨,泵振动较前期未发生振动高现象,泵叶轮通过频率不明显,解体检查法兰张口和错口合格	低
轴弯曲、轴裂纹	频谱中高频突出,调整框架基础,振动下降	低

根据检查和分析可以得出:引起 GST 泵振动频繁超标的直接原因为运转过程中轴系对中出現偏差,导致这一现象发生的根本原因是基础框架刚度不足,局部基础存在变形和虚角。

3 减振方案与实施

根据前面的分析,从提高支架刚度这个基本目标出发,对泵基础框架实施加固和基础调平方案。首先对基础框架进行肋板焊接加固,在框架两边对称增加 20 mm 肋板,单侧 5 块,两侧共 10 块。焊接位置及肋板如图 6 所示。然后对肋板与基础结合处采用点焊方式进行焊接,现场焊接执行情况见图 7。最后对虚脚处采用塞尺测量,并增加相应厚度的垫片进行虚角补偿,同时架设百分表观察螺栓紧固后基础变形量,保证基础框架不发生变形,并用数字机水平仪进行校准。

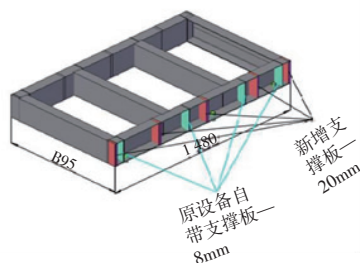


图 6 框架肋板加固图

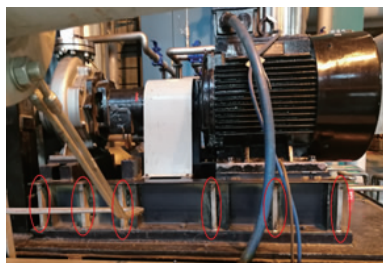


图 7 现场焊接实际图

4 实施结果分析

通过对泵组基础框架实施肋板焊接加固,提高了基础框架的支撑刚度,并针对框架变形引起的基础虚角进行了局部垫片补偿优化,减轻了因基础刚性薄弱、基础局部接

触不实变形后导致的机组安装平面变化程度,使泵组基础框架情况大幅改善,提高了泵组运行中对外部激振力的抗干扰能力^[2];后统一更换联轴器柱销,重新对中,泵执行连轴带载试验,降振效果良好,发电机定子冷却水泵振动反复超标问题得到了彻底、有效治理。具体振动数据见表 3,框架基础加固前后振幅对比情况见图 8。

表 3 3GST201PO 框架基础改造处理后振动数据
单位: mm/s

基础框架 PBD-H 最大振幅		振动限值	
		电机	水泵
处理前	4.1	报警值 2.8	报警值 4.5
处理后	1.9	停机值 4.5	停机值 7.1

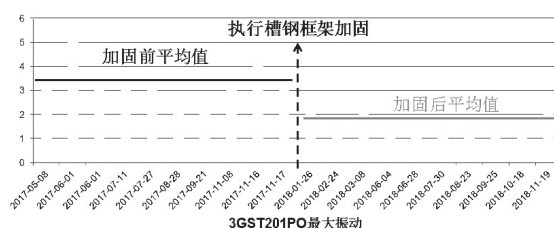


图 8 框架基础实施前后平均振幅对比

5 结语

框架基础刚度差、局部变形等基础类故障是引起设备振动异常的一个主要原因,而且在设备运行中对常规不平衡、不对中等故障起到一定的放大作用^[3],也是解决振动问题时首要排除因素;本文根据框架异常实际情况,进行了较为经济、有效、便捷的改造和尝试,效果尤为明显,处理该问题的一系列试验过程和措施可为同类电厂类似问题的处理提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 黄志坚. 机械设备振动故障监测与诊断[M]. 第 2 版, 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [2] MOBIUS INSTITUTE. Vibration training courses category II[R]. Merricks North: Machine Healthcare Center, 2014.
- [3] 张碧波. 设备状态监测与故障诊断[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

收稿日期: 2020-04-23