

电站消防泵组电机振动超标的分析和治理

邓龙杰 张辉仁

山东核电有限公司 山东海阳 216600

摘要: 某电站电动消防泵组解体后电机振动超标,电机和泵为卧式布置,此类形式泵组在电站中应用较广,是典型卧式电机振动问题。本文介绍了在处理消防泵组电机振动高过程中进行的排查与诊断,通过重新对中、转子做动平衡、消除电机地脚接触不平、台板基础打力矩的方式解决了电机振动超标的问题,并对后续运维提供建议,为有效解决此类振动问题提供了思路和方法。

关键词: 电动消防泵组, 动平衡, 刚性, 频率

Analysis and treatment of motor vibration exceeding standard of fire pump set in power station

LongJie Deng HuiRen Zhang

Shandong Nuclear Power Co Ltd Haiyang 216600

Abstract: After the disassembly of the electric fire pump set in a power station, the motor vibration exceeds the standard, and the motor and pump are arranged in horizontal mode. This type of pump set is widely used in power stations and is a typical horizontal motor vibration. Group in the treatment of the fire pump motor are introduced in this high vibration screening and diagnosis process, through a redesign, rotor dynamic balance, eliminate the motor in the anchor contact uneven foundation bedplate a moment, have solved the problem of excessive vibration motor, and provides the suggestion for subsequent operations, to effectively solve such vibration problem provides ideas and methods.

Keywords: Electric fire pump set, dynamic balance, rigid, frequency

前言

电动消防泵组在火灾事故工况下为灭火装置提供冷却水,充实电厂各部位的消防灭火能力,以保护人员和设备,限制火灾损失。某电动消防泵组电机解体检修后,带载振动达到 12mm/s,超过停机值 7.1mm/s,电机振动不合格,与解体前振动水平 4.2mm/s 相比有较大涨幅。电动消防泵组不可用将严重威胁机组的安全运行和在火灾事故工况下的响应能力,亟需解决振动问题。

该电机为三相异步电机,泵为水平中开单级双吸卧式离心泵,电机功率为 260KW,额定电压 380V,转速为: 2960r/min,电机和泵采用蛇形弹簧联轴器连接,电机基础采用刚性基础,电机与基础为四颗地脚螺栓连接。电动消防泵组电机振动报警值为 4.5mm/s,停机值为 7.1mm/s。一、电机振动治理过程

1. 电机重新对中

解体前后电机的振动数据如下表所示,驱动端水平方向解体前振动为 4.28mm/s,解体后带载振动为 12.45mm/s,振动频率为一倍频。考虑到电机刚完成解体检修,检修记录完整,测量数据均在合格范围内,基本排除电机检修质量造成的振动恶化,且角度不对中能够导致一倍频的振动,计划对电机和泵进行重新对中,并检查电机地脚是否有虚

脚,根据检查结果消除虚脚。

测量位置		解体前 (mm/s)	解体后 (mm/s)
自由端	水平	3.62	7.39
	垂直	1.73	3.81
	轴向	1.74	4.52
驱动端	水平	4.28	12.45
	垂直	1.81	6.07
	轴向	2.52	5.16

根据 GB50231 机械设备安装工程施工及验收:计算后得出电动消防泵组蛇形弹簧联轴器两轴心径向允差为 0.10mm,张口允差为 0.10mm,联轴器间距 1~4mm;虚脚检查采用 0.05mm 塞尺检查垫铁之间和垫铁与设备底面之间的间隙,在垫铁同一断面两侧塞入的长度之和不应大于垫铁长度或宽度的 1/3。经按上述标准重新复查对中和消除虚脚后,带载电机驱动端水平方向振动值为 11.46mm/s,无明显变化。

2. 电机转子动平衡

在排除联轴器对中和虚脚是引起电机振动的关键因素后,考虑到电机驱动端水平方向振动频率主要是一倍频(如

下图 1 所示), 且无轴承故障频率, 通过转子振动模型理论分析, 可能引起电机振动的原因如下:

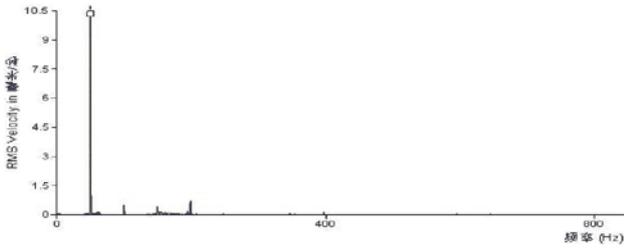


图 1 电机带载驱动端水平方向振动频谱

电机转子不平衡: 由于转子制造、装配误差, 以及转子弯曲变形的影响, 会使转子存在一定的偏心质量, 在转动过程中形成离心力, 从而引起周期性振动, 频率为一倍频。

基础水平方向刚度不足: 卧式电机由于水平方向缺少约束, 导致水平方向的刚度小于垂直方向刚度, 不平衡力引起的振动会因刚度不足而放大振动值, 水平方向和垂直方向的振动都有明显加剧, 且水平方向的振动值会明显大于垂直方向。

结构共振: 电机、泵及基础台板组成的结构件的固有频率与转子转动工频接近或者成整数倍时, 会造成结构件剧烈的振动。由于振动频率显示为一倍频, 不能排除结构共振, 考虑到在建安调试期间电机振动合格, 可排除设计上结构件固有频率与转子工频共振的因素, 但结构件由于重新安装和材料老化后, 可能导致固有频率发生变化, 变化后的固有频率落入共振区内将产生共振。根据标准 API610: 机组固有频率应当比工频至少高出 10% 或低于 10%。

综合考虑, 激振力是引起振动的内因, 且转子动平衡工艺较为成熟, 计划先对电机转子进行动平衡, 消除转子的不平衡激振力。

在将电机解体后, 将电机转子拉至厂家进行动平衡: 动平衡前的转子最大不平衡量为 32.5g, 动平衡后转子最大不平衡量为 1.5g。根据标准 GB9239 刚性转子平衡品质需用不平衡的确定, 电机按照 G2.5 的平衡品质等级, 许用不平衡量为 16g, 动平衡后电机转子剩余不平衡量满足要求。

完成动平衡将电机回装后带载试转, 电机驱动端水平方向振动值下降至 7.0mm/s, 振动值已由原来的 11.4mm/s 降至停机值 7.1mm/s 以下, 具备短期运行条件, 降低了对消防系统的影响, 但仍需要继续排查处理, 消除振动缺陷。

3. 增加基础连接刚性

根据测量电机水平方向振动发现, 电机地脚附近底座上的振动超过电机轴承振动的 30%, 两次测量电机地脚附近底座上振动数据见下表:

	测点	电机地脚(mm/s)	电机轴承(mm/s)	比值
第一次	非驱动端	1.65	3.28	50%
	驱动端	1.47	3.22	46%

第二次	非驱动端	1.42	3.00	47%
	驱动端	1.48	4.01	37%

参考国标 GB/T 10068 -2020 《轴中高层为 56mm 以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值》中关于电机刚性安装的规定: 在电机底脚上的水平与垂直两方向所测得的最大振动速度不超过在邻近轴承上沿水平或垂直方向所测得的最大振动速度的 30%。实际测量的基础振动与轴承室振动的比值均超过 30%, 证明水平方向的刚性不足。

为了增加电机基础的连接刚性, 计划对电机四个地脚进行机加工找平, 同时也对安装电机的基础台板四个地脚进行机加工找平, 一方面找平后可以保障电机和台板之间有足够大的接触面积, 从而保障接触刚性更好; 另一方面通过找平可以消除电机地脚和基础台板的连接应力, 使电机处于自然水平的状态, 降低对激振力的敏感程度。

根据 GB50275-2010 风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范: 整体安装的泵安装水平应在泵的进出口法兰面或其它水平面上进行检测, 纵向安装水平偏差不应大于 0.10mm/m, 横向安装水平偏差不应大于 0.20mm/m; 根据机械设计手册规定: 不重要零件的非配合表面, 选用表面粗糙度为 6.3 μ m。现场电机台板找水平参照上述标准执行, 经过在线机加工处理, 将电机台板的四个地脚加工到水平度最大 0.09mm/m, 表面粗糙度小于 6.3 μ m, 红丹粉研磨试验接触面及 $\geq 75\%$ 。电机经返厂机加工后, 地脚平面度小于 0.02mm。同时更换了电机找正垫片, 垫片使用线切割加工的标准垫片, 垫片上下表面平行度在 0.02mm 以内, 每个电机地脚的垫片控制在 5 片以内。

通过增强基础连接刚性的措施, 电机驱动端水平方向振动值由 7mm/s 下降至 5.8mm/s, 对消除振动有一定的贡献。

4. 处理结构共振

在处理振动过程中多次通过锤击试验测量电机的固有频率, 电动消防泵组电机水平方向固有频率如下图 2 所示, 最接近基频的固有频率为 51.75Hz, 电机转速为 2960r/min, 工频为 50Hz, 固有频率不能满足 API610 标准的要求避开固有频率 10%, 因此存在结构共振。

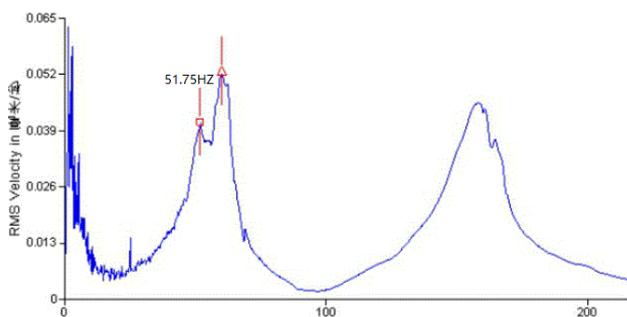


图 2 电机水平方向固有频率

一号机组电动消防泵组目前振动合格, 可测量固有频率对比。通过测量, 一号机组电动消防泵组电机水平方向固有频率如下图 3 所示, 最接近基频的固有频率为 79Hz, 固有频率避开了工频的 10%, 未落入共振区。

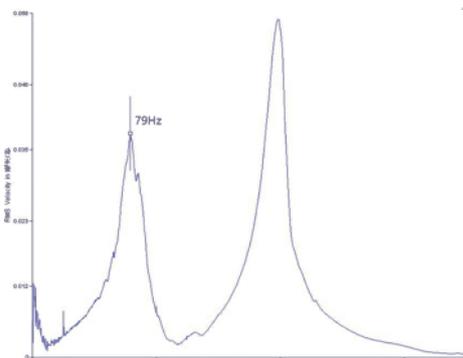


图3 一号机组电机水平方向固有频率

通过对比一号机组电动消防泵组电机水平方向固有频率,可直观反映电机水平方向发生结构共振。由于两台机组电动消防泵组设计方式和安装布局相同,可确定非设计原因导致电机水平方向固有频率落入共振区,而是由于安装质量或材料老化导致固有频率发生变化后落入共振区。

经观察,电机地脚、台板连接螺栓和电机轴承端盖螺栓均为美标螺栓,螺栓六方头上端面标有符号: Y,表示强度性能等级为美标5级螺栓,相当于国标8.8级螺栓;螺栓大小为:5/8英寸,接近国标M16螺栓。经测算螺栓的最大紧固力矩可达到190Nm,决定对现场电机地脚、台板连接螺栓和电机轴承端盖螺栓进行加大力矩复紧,经过力矩复紧后再次测量电机固有频率,显示最接近基频的固有频率增大到了68Hz,如下图所示,电机固有频率避开了共振区间。

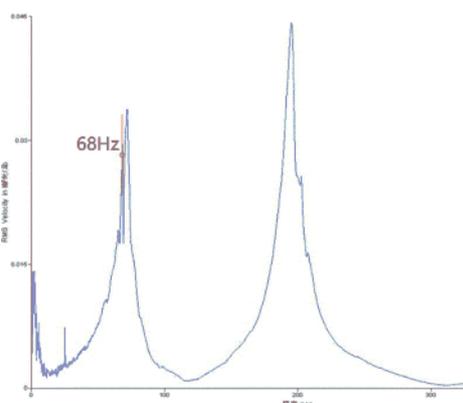


图4 复紧螺栓力矩后电机水平方向固有频率

通过加大力矩复紧螺栓完成结构共振处理后,再次带载测量电机驱动端水平方向振动值由5.8mm/s下降至3.66mm/s,振动合格,并经过一段时间观察测量,振动稳定且无明显波动,数据均在合格范围内,电动消防泵组振动超标治理完成。

二、振动贡献因素总结分析

梳理电动消防泵组振动治理过程,分析振动措施对应的振动幅值变化和振动频谱,总结本次电动消防泵振动超标主要因素为:转子质量不平衡、基础水平方向刚度不足及结构共振。

1. 转子质量不平衡

电动消防泵组电机在现场单转和带载试转,振动均以基频振动为主,电机转子进行动平衡前,转子两端不平衡量分别为32.5g和22.3g,不平衡量超出标准要求,电机转子动平衡后两端不平衡量降为1.5g和0.6g,满足标准要求。现场单转振动最大值由3.6mm/s降至2.39mm/s,带载电机振动最大值由11.4mm/s降低至7mm/s,减振效果明显,由此判断电机转子质量不平衡引起转子运转过程中产生较大离心激振力,引起结构件振动,是电机振动大的贡献因素之一。

2. 基础连接刚性不足

通过处理电机地脚和电机台板地脚,保障了电机和台板有足够的接触面积、处于水平位置并消除连接应力,从而增强了基础连接刚性。在电机地脚和台板地脚处理前,测量接触面水平度,发现电机地脚接触面和水平度均存在超标的问题,经加工处理后,电机单转水平方向振动值由2.39mm/s降至1.18mm/s,带载运行电机水平方向振动值由7mm/s降至5.8mm/s,由此判断电机地脚连接刚度不足对由激振力引起的振动有一定的放大效果,连接刚度不足是导致电机振动超标的贡献因素之一。

3. 结构共振

一号机组振动正常列电动消防泵组电机固有频率为79Hz,振动故障列电动消防泵组电机固有频率为51.75Hz,通过对比可以发现:1、故障列电机固有频率落入共振区导致振动叠加放大;2、故障列结构刚度小于正常运行列,刚性较差;3、可排除原设计导致固有频率落入共振区,应考虑安装和老化原因。通过增加力矩复紧螺栓使故障列电机固有频率提高至68Hz,避开共振区,电机水平方向振动值由5.8mm/s降至3.66mm/s,因此可推断激振力频率与固有频率相重合,产生结构共振,引起振动加剧,是导致电机振动超标的贡献因素之一。

三、后续维修建议

电动消防泵组电机振动超标问题已经治理完成,电机振动值降至报警值以下,但低于报警值的裕量较小,且泵振动值相对较大,为避免长时间运行或者下次检修时再次出现电机振动超标的故障,建议后续电动消防组电机解体时可开展以下工作:

1. 转子开展动平衡测试

建议后续解体过程中对转子进行动平衡测试,并根据测试结果调整转子动平衡余量,按照G2.5的平衡品质等级来验收,防止将动平衡超标的转子回装至设备本体,导致运转过程中激振力较大,进而引起振动超标。

2. 复测电机台板地脚接触面积和水平度

在电机解体窗口可以将电机吊离基础台板,测量基础台板地脚的水平度和接触面积,保证基础连接刚性,消除因基础连接刚性不足而导致振动放大。

3. 程序中明确力矩值,固化执行时力矩要求

螺栓力矩值应按标准进行明确,并将对应位置螺栓的力矩写入程序中,后续运维工作严格按照程序执行,保证

现场螺栓力矩的一致性和正确性,从而消除因螺栓力矩不足造成结构共振的潜在风险。

参考文献:

[1] 杨国安, 机械设备故障诊断实用技术, 中国石化出版社, 2013年3月

[2] 刘明利, 电站大型卧式泵组振动的处理, 国网技术学院学报, 2020年第1期

[3] 高比转速供暖循环水泵改型设计[J]. 胡凯, 陈晶晶. 通用机械. 2016(10)