

文章编号: 1008-8857(2023)03-0161-05

DOI: 10.13259/j.cnki.eri.2023.03.004

基于手持式振动仪的电机振动故障检测与诊断

陈岩飞, 楚玉杰

(华能国际电力股份有限公司 上安电厂, 河北 石家庄 050310)

摘要: 电机在运行过程中由于各种原因会产生异常振动, 从而造成设备停运。而手持式振动仪能够方便、快捷地检测到电机振动的数据并进行分析, 有助于及时明确设备振动的原因。通过对上安电厂两台电机进行状态检测、数据分析, 分析并总结了振动速度、位移、加速度超标的原因及解决方法。结果表明: 工艺水泵电机基础刚性不足导致的共振表现为水平振动速度大, 且为垂直振动速度的 5 倍以上, 基础加强后振动速度明显减小; 磨煤机电机在振动速度与位移均正常的情况下高频加速度大是由轴承油膜失效或消失所致, 加注润滑脂后可正常运行, 并可延长轴承的使用寿命。因此, 手持式振动仪是检测、评估电机运行时振动情况的有效工具, 在电机日常维护过程中起着重要的作用。

关键词: 电机; 振动; 手持式振动仪; 状态检测

中图分类号: TM30

文献标志码: A

Vibration fault monitoring and diagnosis of motors by hand-held vibrometer

CHEN Yanfei, CHU Yujie

(Shang'an Power Plant, HUANENG Power International Inc., Shijiazhuang 050310, China)

Abstract: The abnormal vibration of motors usually causes the equipment shutdown. The hand-held vibrometer can monitor the motor vibration conveniently and quickly, which is helpful to identify the cause of the equipment vibration in time. The state detection and data analysis of two motors in Shang'an power plant were performed. And both the reason and solution were summarized for exceeding the permitted levels of vibration speed, displacement, and acceleration. Results show that the vibration by insufficient foundation rigidity of process pump motor is manifested as high horizontal vibration speed, whose speed is more than 5 times higher than the vertical vibration speed. Strengthening the foundation can reduce the vibration speed obviously. The failure or disappearance of bearing oil film results in the high frequency acceleration of coal mill motor under the normal vibration speed and displacement. The re-injection of lubricating grease can make it

收稿日期: 2022-10-18

第一作者: 陈岩飞(1984—), 男, 硕士。研究方向: 电动机振动故障的检测与诊断。

E-mail: 770191304@qq.com

works normally and extend its bearing service life. Therefore, hand-held vibrometer is an effective tool to detect and evaluate the vibration of motors, which plays an important role in the daily maintenance of motors.

Keywords: motor; vibration; hand-held vibrometer; state detection

随着经济的不断发展,工业设备自动化技术不断成熟,设备正朝着大型化和高功率方向发展。电机由于维护方便、结构简单、成本低等优点被应用在不同的工业领域。但电机在运行中因为种种原因会产生异常振动,从而加剧电机受损,严重时会影响系统的稳定性,造成非计划停产。

为了保障电机稳定运行,通常采用手持式振动仪或频谱分析仪对电机进行振动检测。手持式振动仪体积较小,价格便宜,使用方便,常用于对数量较多的电机进行日常巡检,并根据所测得的位移、速度、低频(10 Hz~1 kHz)加速度、高频(1~15 kHz)加速度判断电机振动是否异常,分析出简单的振动故障原因,例如基础松动、轴承故障等。而频谱分析仪体积较大,价格昂贵,使用方法繁琐,但它能够分析频谱,可发现手持式振动仪难以判断的电机振动故障,如不平衡、电磁振动、轴承的具体故障等^[1]。李洪波^[2]从机械配合、轴承、动平衡、电磁振动等方面阐述了电机振动的原因及解决方法。王成硕^[3]通过对某高速电机进行模态分析与振动速度分析,得出其固有频率具有足够的隔离裕度并校核了电机结构设计的合理性;试验结果验证了其振动分析的有效性。庞庆广^[4]采用双通道带加速度传感器的便携式测振仪检测到循环水泵电机振动速度偏大,频谱分析表明其故障频率主要反映在2倍电源频率,据此分析故障原因,并指导停机和针对性检修,从而解决了该电机的振动问题。李新阳等^[5]针对凝泵电机变频运行时出现的振动问题,检测了凝泵电机停机过程中机组振动随转速的变化情况,并通过频谱分析指出了故障原因,然后分别通过电机及机组的动平衡试验大幅减小了振动位移。唐伟等^[6]根据检测的原油外输泵电机振动速度及振动频谱,分析了电机振动偏大的原因,后通过电机转子动平衡试验振动速度明显减小。项永^[7]通过振动频谱分析及仿真分析,确定了某

800 kW 二极电机振动速度偏大的主要原因,后通过加强电机机座刚性解决了该电机的振动问题。戈建新等^[8]针对某浆液循环泵电机振动偏大问题,根据检测到的振幅、转速、相位差及频谱分析结果,通过动平衡试验消除了该电机的振动故障。汪飞鹏等^[9]采用便携式振动仪表检测发现冷冻水循环泵电机振动速度偏大,通过频谱分析得出联轴器不对中是主要原因,据此解决了该电机的振动问题。刘双白等^[10]针对循环水泵电机自由端振动常年存在振动偏大的问题,根据振动测试仪检测到的通频、一倍频、二倍频振动频谱,分析了循环水泵电机振动位移偏大的原因,通过适当改变电机的支撑结构消除了二倍频共振导致的电机振动现象。

上述表明,电机零部件机械配合不良、轴承故障、转子不平衡、机械松动、电磁振动等是造成电机振动的主要原因。大多数学者通过仿真与振动频谱分析的方法对电机振动速度大的故障进行分析,而鲜有对位移、低频加速度、高频加速度等的分析。即使振动速度相同,导致其振动的原因也可能不同。就概念而言,位移能够直接反映轴承、固定螺栓和其他固定件上的振动幅度;速度可反映轴承及其他相关结构的振动能量和疲劳状况;加速度则可反映设备内部各种力的综合作用,常用于轴承和齿轮的检测。

电厂有大量运行的电机,考虑到经济与人力成本,本文采用工作效率较高的手持式振动仪测量电机振动的速度、位移、低频加速度、高频加速度,并进行振动故障的检测与诊断。

1 振动的测量方法

采用手持式振动仪对工艺水泵电机和磨煤机电机的驱动端及非驱动端进行位移、速度、低频加速度、高频加速度的测量。为确定轴承整体振

动特性, 根据标准^[11], 应在驱动端与非驱动端轴承室外壳选取3个相互垂直的位置进行测量, 即水平(测点1、4)、垂直(测点2、5)和轴向(测点3、6), 测点布置如图1所示, 其中, 水平或垂直方向测点都需经过轴线的垂线, 轴向测点所经的轴线平行线应尽可能靠近电机轴线, 以使测量数据更加准确。

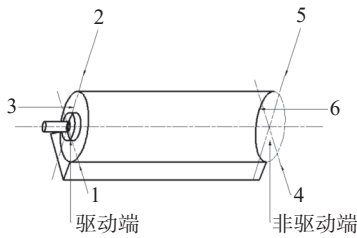


图1 测点布置

Fig. 1 Arrangement of measuring points

2 振动检测及故障诊断

2.1 工艺水泵电机振动检测及故障诊断

工艺水泵电机与水泵通过联轴器连接, 且均固定在台板上, 台板经水泥浇筑与地基固定。电

机功率为 90 kW, 转速为 1 480 r·min⁻¹。某次巡检时测得的振动位移、速度、低频加速度、高频加速度如表1所示, 振动标准规定值^[11]如表2所示, 共分为3组, 第一组: 额定功率大于300 kW 小于 50 MW 的大型机器, 电机转轴高度 $H \geq 315$ mm; 第二组: 额定功率大于 15 kW 小于等于 300 kW 的中型机器电机, 转轴高度 $160 \text{ mm} \leq H \leq 315$ mm; 第三组: 离心式、混流式或轴流式, 额定功率小于 15 kW 的泵。表1中工艺水泵电机的振动速度与位移远远超过了标准的规定值, 但在现场并没有检测到异常声音, 且电机两端的轴承温度正常。

表1 工艺水泵电机振动数据
Tab. 1 Motor vibration data of process pump

| 参数名称 | 电机驱动端 | | | 电机非驱动端 | |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 水平 | 垂直 | 轴向 | 水平 | 垂直 |
| 位移/(mm) | 0.242 | 0.095 | 0.079 | 0.367 | 0.038 |
| 速度/(mm·s ⁻¹) | 24.9 | 14 | 13.3 | 41.2 | 6.4 |
| 低频加速度/(m·s ⁻²) | 19.2 | 13.9 | 12.5 | 20.2 | 9.7 |
| 高频加速度/(m·s ⁻²) | 11.5 | 11.4 | 16.5 | 13.2 | 9.8 |

表2 振动标准规定值

Tab. 2 Vibration standard specified value

| 第一组 | | | | 第二组 | | | | 第三组 | | | |
|------|------|-----------|------------------------------|------|------|-----------|------------------------------|------|------|-----------|------------------------------|
| 支撑类型 | 区域边界 | 位移/ μm | 速度/ (mm·s ⁻¹) | 支撑类型 | 区域边界 | 位移/ μm | 速度/ (mm·s ⁻¹) | 支撑类型 | 区域边界 | 位移/ μm | 速度/ (mm·s ⁻¹) |
| 刚性 | A/B | 29 | 2.3 | 刚性 | A/B | 22 | 1.4 | 刚性 | A/B | 23 | 2.8 |
| | B/C | 57 | 4.5 | | B/C | 45 | 2.8 | | B/C | 36 | 4.5 |
| | C/D | 90 | 7.1 | | C/D | 71 | 4.5 | | C/D | 57 | 7.1 |
| 柔性 | A/B | 45 | 3.5 | 柔性 | A/B | 37 | 2.3 | 柔性 | A/B | 36 | 4.5 |
| | B/C | 90 | 7.1 | | B/C | 71 | 4.5 | | B/C | 57 | 7.1 |
| | C/D | 140 | 11 | | C/D | 113 | 7.1 | | C/D | 90 | 11 |

注: 1.适合条件: 额定功率大于15 kW和额定转速在120 ~ 15 000 r·min⁻¹在现场测量的工业机器; 2. 区域说明: 区域A: 优质; 区域B: 良好; 区域C: 注意; 区域D: 危险。

由表1可知, 工艺水泵电机的振动速度和位移均很大, 而高频加速度和低频加速度均小于 39.2 m·s⁻², 且高频加速度小于低频加速度, 说明振动主要是由低频故障引起的, 例如不平衡、

不对中、轴弯曲、连接刚度不足、基础支撑刚度降低等^[12]。由于电机长时间正常运行, 基础刚性变软, 且非驱动端的水平方向与垂直方向相比较, 在水平方向引起的振动更大(例如, 水平方

向的振动速度与位移分别比垂直方向的振动速度与位移大5~15倍)。首先考虑到这是因基础刚性降低、连接刚度降低、机壳本体振动、管路振动等导致的共振。考虑到基础刚性低和连接刚度低容易处理,所以先从这两方面入手。而连接刚度不足的特征是电机地脚与台板上侧的振动位移相差超过0.03 mm^[13]。

该电机地脚与台板振动位移测量结果如表3所示。可见:从台板下侧至电机地脚,振动位移逐渐增大,并且超过了标准规定值。台板中间振动位移比电机地脚的小一半左右,说明台板下侧与基础振动幅值良好;台板上侧与电机地脚处的位移相差0.019 mm,因此不存在因电机地脚螺栓松动或电机地脚与台板接触不充分导致的连接刚度不足的问题。据此,可以尝试解决支撑台板刚性不足引起的振动。

表3 振动位移
Tab.3 Vibration displacement

| 位置 | 台板下侧 | 台板中间 | 台板上侧 | 电机地脚 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 振动位移/mm | 0.015 | 0.036 | 0.056 | 0.075 |

若要彻底解决此问题,需要拆除台板,灌成水泥板,但是由于机组正在运行,该电机不能停运,故暂时将台板采用丝杠支撑,加强刚性。基础加强如图2所示。



图2 基础加强
Fig.2 Strengthened foundation

台板采用丝杠支撑后电机振动情况检测结果如表4所示。表4与表1数据的对比分析结果表明,基础刚性不足是造成该电机振动的主要原因。基础支撑刚度在水平、垂直、轴向具有各向异性,且对应不同的临界转速。而因电机受到的

激振力的频率和基础的水平方向固有频率接近而导致的共振具有很强的单向性,即水平方向振动更大^[14]。

表4 台板采用丝杠支撑后工艺水泵电机振动数据
Tab.4 Motor vibration data of process pump after the supporting of platen by screw

| 参数名称 | 电机驱动端 | | | 电机非驱动端 | |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 水平 | 垂直 | 轴向 | 水平 | 垂直 |
| 位移/(mm) | 0.043 | 0.027 | 0.039 | 0.043 | 0.052 |
| 速度/(mm·s ⁻¹) | 1.9 | 2.1 | 2.5 | 1.7 | 3.2 |
| 低频加速度/(m·s ⁻²) | 18.6 | 13.9 | 10.4 | 20.3 | 9.2 |
| 高频加速度/(m·s ⁻²) | 8.7 | 11.4 | 15.3 | 25.2 | 9.5 |

2.2 磨煤机电机振动检测及故障分析

磨煤机电机功率为1500 kW,转速为993 r·min⁻¹,通过地脚螺栓固定在地面。巡检时发现,该磨煤机电机驱动端高频加速度超过39.2 m·s⁻²(经验值),但是其振动位移和速度均在正常范围内,如表5所示。

表5 磨煤机电机振动数据
Tab.5 Motor vibration data of coal mill

| 参数名称 | 电机驱动端 | | | 电机非驱动端 | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 水平 | 垂直 | 轴向 | 水平 | 垂直 | 轴向 |
| 位移/(mm) | 0.021 | 0.021 | 0.053 | 0.013 | 0.015 | 0.028 |
| 速度/(mm·s ⁻¹) | 2.5 | 2.3 | 5.8 | 1.4 | 2.1 | 3.1 |
| 低频加速度/(m·s ⁻²) | 24.8 | 23.9 | 29.4 | 11.8 | 19.5 | 15.5 |
| 高频加速度/(m·s ⁻²) | 58.6 | 64.6 | 83.4 | 26.4 | 34.4 | 36.1 |

由表5可知,该电机的高频加速度大于低频加速度,且在现场能听到轴承处有尖锐声,由此判断轴承在运转过程中,因缺少润滑脂或润滑脂发黑变硬导致滚动体与滚道之间形成的油膜失效或消失,造成刚性体直接接触,产生冲击力,出现异常振动^[15];或者轴承由于长时间运转导致疲劳,造成局部表面剥落,当两个凹凸不平的表面相互接触时会使滚动体与滚道间产生撞击力,出现异常振动^[16]。以上两种原因都会使滚子与滚道间产生冲击力,造成电机振动。根据牛顿第二定律,高频加速度与冲击力成正比,因此可通过高频加速度来反映轴承的故障情况。当该电机

加注润滑脂后,在现场能够明显听到轴承处异常声音消失的过程,同时轴承温度上升,高频加速度增大,但是约1 h后,高频加速度降至正常范围。原因是加注润滑脂破坏了轴承原有的热平衡,导致其发生机械形变,轴承摩擦力增大,从而引起轴承发热,高频加速度增大^[17]。此外,发黑变硬的油脂不能及时排出,轴承室内油脂积累过多,导致散热通道堵塞,温度升高,滚子的摩擦阻力增大^[18]。而当变质油脂排出、轴承恢复热平衡、油膜重新形成后,油脂可以起到润滑作用,使电机正常运转。加注润滑脂后测得的磨煤机电机振动数据如表6所示。

表6 加注润滑脂后磨煤机电机振动数据
Tab.6 Motor vibration data of coal mill after the injection of lubricating grease

| 参数名称 | 电机驱动端 | | | 电机非驱动端 | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 水平 | 垂直 | 轴向 | 水平 | 垂直 | 轴向 |
| 位移/(mm) | 0.011 | 0.010 | 0.020 | 0.020 | 0.011 | 0.010 |
| 速度/(mm·s ⁻¹) | 1.5 | 1.3 | 2.6 | 2.6 | 1.4 | 3.4 |
| 低频加速度/(m·s ⁻²) | 6.1 | 7.1 | 4.5 | 12.1 | 7.5 | 8.0 |
| 高频加速度/(m·s ⁻²) | 10.5 | 13.2 | 6.1 | 21.1 | 13.2 | 14.1 |

3 结论

(1)工艺水泵电机基础刚性不足导致的共振表现为水平振动速度大,且为垂直振动速度的5倍以上。当基础加强后,振动速度明显减小。

(2)磨煤机电机在振动速度与位移均正常的情况下高频加速度大是由轴承油膜失效或消失所致,加注润滑脂可使电机运行正常,并可延长轴承的使用寿命。

(3)手持式振动仪是检测、评估电机运行时振动情况的有效工具,基于手持式振动仪检测结果的合理分析,有助于明确导致设备振动的原因,为设备大修提供依据。

参考文献:

- [1] 高志鹏,程新联. 振动频谱分析在立磨减速机故障诊断中的运用[J]. 水泥, 2021(4): 52-54.
- [2] 李洪波. 电动机振动故障分析、降低振动的途径及在电机车间的应用[J]. 技术报道, 1998(1): 62-67.
- [3] 王成硕. 基于 ANSYS 的高速水冷电机结构振动分析[J]. 电气防爆, 2020(4): 17-20.
- [4] 庞庆广. 反应器循环泵电机振动分析[J]. 石油化工设备技术, 2016, 37(5): 64-66.
- [5] 李新阳,施缤,李年仔,等. 凝泵电机变频运行振动分析及诊断[J]. 电站系统工程, 2015, 31(6): 41-43.
- [6] 唐伟,潘多艳. 原油处理站外输泵电机振动故障的诊断与分析[J]. 石油和化工设备, 2012, 15(1): 46-48.
- [7] 项永. 二极电机振动问题分析研究[J]. 电器工业, 2022(3): 54-58.
- [8] 戈建新,陶有宏,郝庆丰. 浆液循环泵电机高速动平衡振动故障处理[J]. 电力安全技术, 2021, 23(10): 55-58.
- [9] 汪飞鹏,李娜,曾国靖. 冷冻水循环泵电机振动原因分析及处理[J]. 电工技术, 2021(15): 186-187, 191.
- [10] 刘双白,宋亚军,司派友,等. 立式循环水泵电机轴承振动分析与处理[J]. 电机技术, 2022(4): 58-60, 64.
- [11] ISO 10816—3: 2009 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动 第3部分: 额定功率大于15 kW 额定转速在120 r/min至15 000 r/min之间的在现场测量的工业机器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [12] 黄志坚. 机械设备振动故障监测与诊断[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [13] 昃刚,李琨,王博磊,等. 支撑刚度不足引起电机振动的诊断与处理[J]. 电机技术, 2020(4): 31-35.
- [14] 官能春. 旋转设备共振故障的诊断[J]. 设备管理与维修, 2009(12): 40-43.
- [15] 杨鸿儒,王新梅. 振动检测仪在电动机状态监测和润滑管理中的应用[J]. 机械, 2008, 35(9): 75-77.
- [16] 阳建宏,黎敏,丁福焰,等. 滚动轴承诊断现场实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [17] 王瑞,张晓光,卢鹏,等. 如何降低电机添加润滑脂后的轴承温升[J]. 设备管理与维修, 2019(8): 185-186.
- [18] 夏超,明飞翔,梁阳,等. 某核电站闭式冷却水泵轴承润滑问题分析[J]. 润滑油, 2021, 36(2): 60-64.