

600MW 超临界机组循环水泵不稳定振动故障诊断

刘晓锋，卢修连，何利鹏，何小锋

（江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京 211102）

摘 要：针对一台 600MW 超临界机组立式循环水泵驱动电机双速改造后出现的不稳定振动问题进行了振动诊断和性能分析，阐明了不稳定振动的机理，由于循泵低转速运行时，偏离原始设计工况，流体紊流产生剧烈的振动使轴承和轴套磨损严重，进而造成叶轮叶片和导流椎的冲击碰磨。循泵检修处理后，高速运转，振动良好。同时证明循泵不适合低速运转，需进一步实施相关改造，在保证振动安全的前提下，提高经济性。

关键词：循泵；紊流；叶片通过频率；碰磨

1 背景

HNTC 电厂二期 2×600MW 工程#3 机组采用 4 台 KSB 立式斜流循泵。而#4 机组采用 2 台长沙水泵厂循泵（即#9、#10 循泵），型号 88LKXA-17.9 型立式斜流泵，扬程 17.0m，流量 36720m³/h，重 83000kg。投产 9 年来，#9、#10 循泵投运运行状态一直良好，2014 年将#10 循泵配套电机改为 330/370rpm 双速运行，外观部分如图 1 所示。#10 循泵改造后，在低转速状态与#9 循泵并列运行时，出现轴向振动高且大幅波动的情况，有时甚至达到 0.11mm。



图 1 #10 循泵外观图

为此对#10 循泵进行了振动测试，现场在电动机上部东、北、轴向及电动机下部北向各放置一个本特利 9200 速度传感器测试其振动信号，测试采用 DAIU 208 数据采集分析仪接入其输出信号，对振动进行监测分析。

2 振动测试情况

该循泵由单速改为双速运行后，在低转速下运行时，电动机上部轴向振动值偏大，且电机有明显异音，高转速下振动情况正常。现场测试各测点振动频谱图如图 2~5 所示，降速波特图如图 6 所示。从测试数据来看，电机上部水平向振动位移值不超过 55μm，振速值不超过 2.0mm/s，轴向位移值在 90μm 左右，振速值在 3.3mm/s，偏大。从测试频谱图看，工频分量较小，主要为 21Hz 的频率成分，此时工作转速 330rpm，工频为 5.5Hz，21Hz 为其 4X 倍频。从降速波特图来看，断电后故障频率并未立刻消失。现场未听到明显异音。

从测试数据来看，电动机上部轴向振动值偏大，工频分量较小，主要为 21Hz 频率成分，计算发现该频率与转速的 4X 倍频吻合。从降速波特图来看，断电后该频率并未立刻消失。工频成分较小，说明转子平衡情况较好，断电后该频率依然存在，说明振动和电动机磁力无关，考虑到该泵叶轮具有 4 个叶片（图 7），说明该频率为泵叶片通过频率，分析该振动问题与流体紊流有关，有可能该循泵改为低转速运行后，偏离原始设计工况，流体出现紊流，导致出现较明显叶片通过频率。

由于#10 循泵低转速运行时径向振动良好，轴向振动略微偏高，出于经济性考虑，#10 循泵低速运行了一月左右，最初振动情况基本稳定，但后来振动有增大趋势，切为高转速运行后，电机振动也变大，2014 年 5 月 15 日对#10 循环水泵再次进行振动测试。

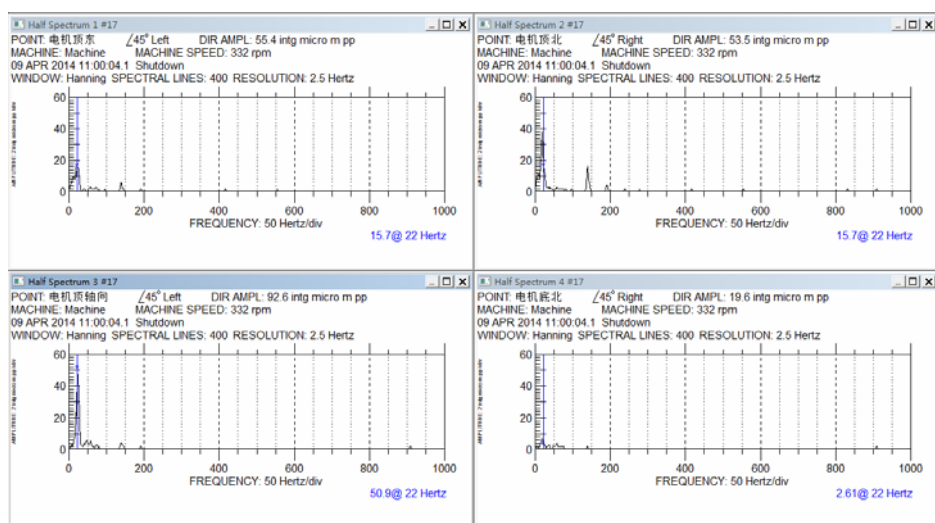


图2 振动频谱图 (位移 0-1000Hz)

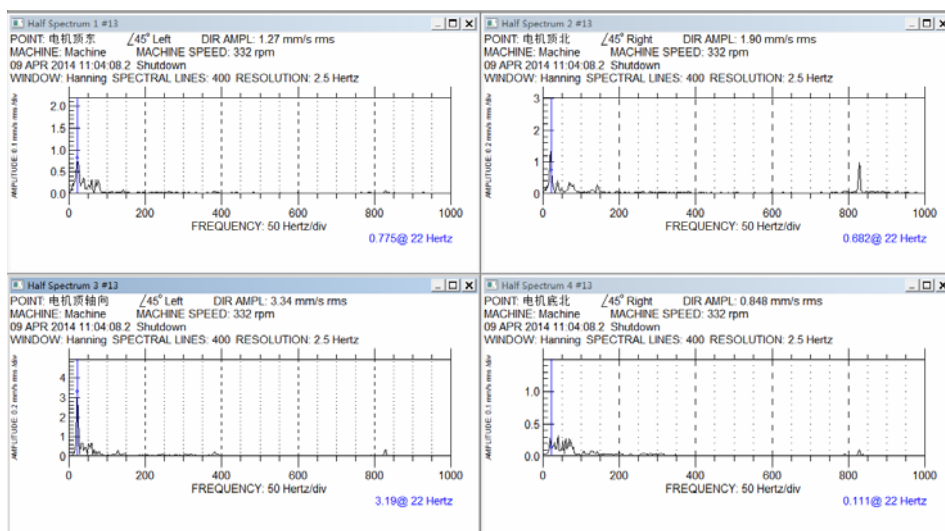


图3 振动频谱图 (振速 0-1000Hz)

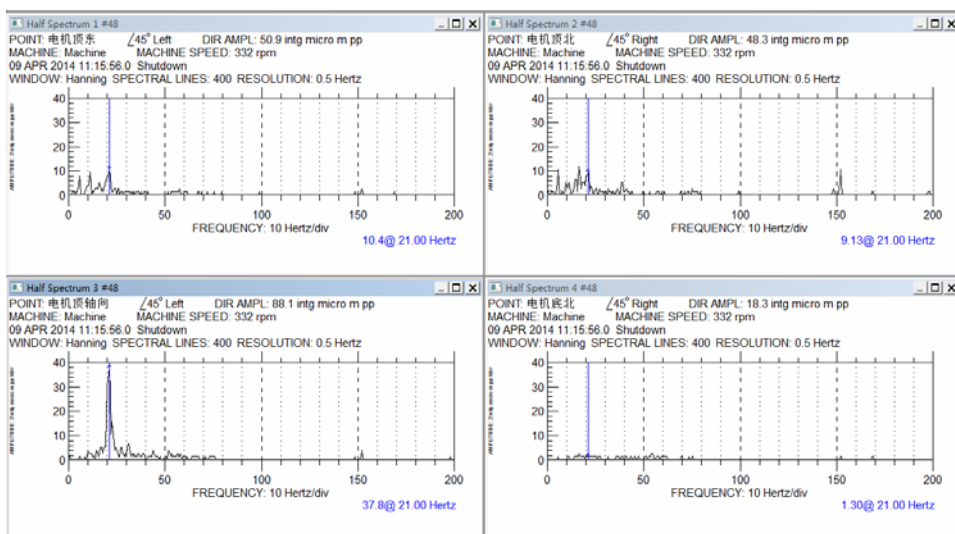


图4 振动频谱图 (位移 0-200Hz)

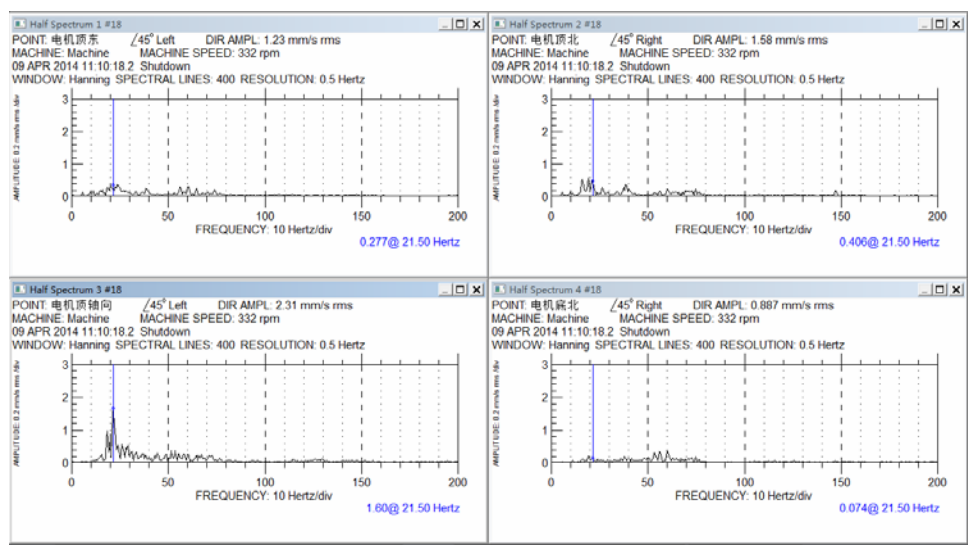


图 5 振动频谱图（振速 0~200Hz）

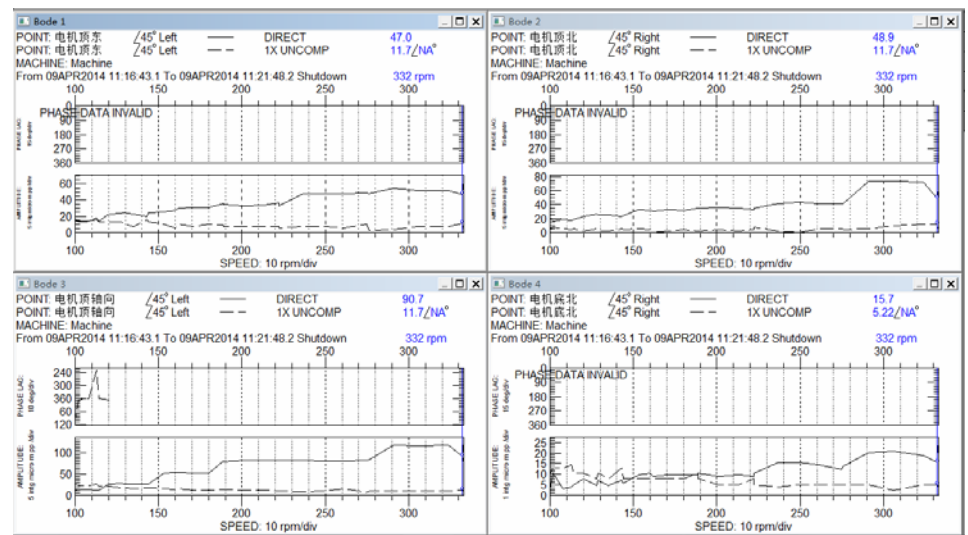


图 6 降速波特图



图 7 循泵叶轮

#10 循环水泵电机顶部东西方向振动为 70~140um, 南北方向振动为 75~100 um, 测试电机东

西方向振动速度为 2.6~3.5mm/s, 南北方向振动速度为 1.9~2.5mm/s, 测试电机轴向振动为 110~170 um, 测试电机轴向振动速度为 3.6mm~5.5mm/s。测试电机振动偏大, 电机径向和轴向振动均有一定程度的波动, 测试振动工频成分均较小, 测试振动成分主要为 16~21Hz, 振动主要为 4X 倍频分量, 且波动较大, 主要为流体通过叶片时产生的频率成分。

测试循泵电机东西、南北、轴向振动趋势图如图 8~11 所示, 试循泵电机东西、南北、轴向振动频谱图如图 12~14 所示。

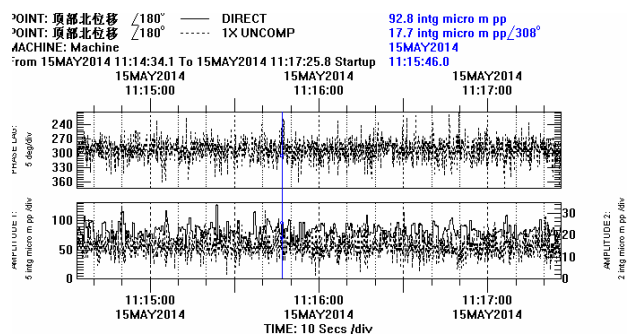


图 8 循泵电机南北方向振动趋势图

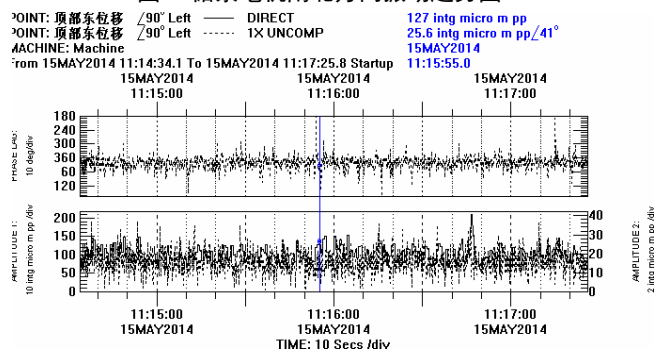


图 9 循泵电机东西方向振动趋势图

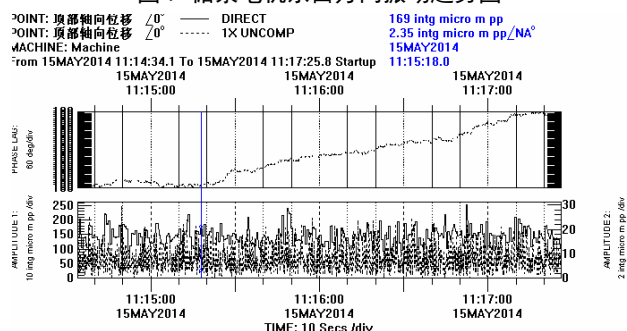


图 10 循泵电机轴向振动趋势图

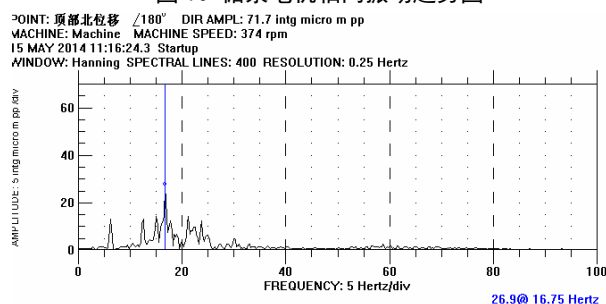


图 11 循泵电机南北方向振动频谱图

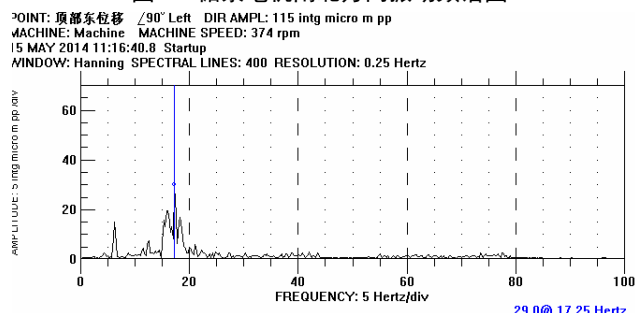


图 12 循泵电机东西方向振动频谱图

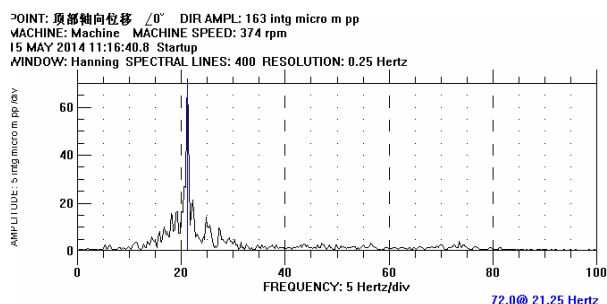


图 13 循泵电机轴向振动频谱图

#10 循泵目前在低速和高速运行时都出现了振动超标的情况，而且由原来只有低速运行轴向振动略高的情况发展到径向振动也超标。循泵低速、高速运行时振动特征相同，测试循泵电机振动偏大，电机径向、轴向振动均有一定程度的波动，工频分量较小，主要为 16~21Hz 振动分量，以 4 倍频成分为主，与叶片通过频率一致。振动波动主要可能为循环水泵出现紊流，且恶化速度较快，建议对水泵进行检修。

3 循泵运行工况图解分析

现有泵运行工况图解分析见图 14。一机一泵低速运行时，工况点为 A 点；一机一泵高速运行时，工况点为 B 点；一机二泵低速运行时，工况点为 C 点；一机二泵高低速运行时，工况点为 D 点；一机二泵高高速运行时，工况点为 E 点。

由于作图误差，同时装置扬程曲线按平均潮位做了调整，所以图解工况分析数据与第四节运行工况分析的数据略有差别，但基本一致。

D 点工况比较接近低速泵扬程曲线的拐点，如果回水阀开度不是 100%，回水阀稍微关小一点的话，则 Hz12 曲线要变陡，工况点扬程可能越过拐点，泵将处于不稳定工况区发生振动。上述工况分析数据列入表 1。

表 1 图解运行工况分析数据

运行方式	一机一泵 低速	一机一泵 高速	一机二泵 低速	一机二泵 高低速并联	一机二泵 高速
工况点	A	B	C	D	E
总流量/(m ³ /s)	10.6	12.5	18.2	19.6	21.18
m ³ /s	38160	45000	65520	70560	76240
单泵流量/(m ³ /s)	10.6	12.5	18.2/2	高速 低速	10.59
m ³ /s	38160	45000	65520/2	11.4 8.2	38124
				41040 29520	
泵扬程/m	9.9	11	13.9	15.4	17.5
泵效率/%	76	70	84	82.6 79	85
轴功率/kW	1354	1926	1476.3	2084 1567	2137.5

由表 1 看出，单泵运行时，不管是高速还是低速泵，运行效率（70%~76%）都偏低；双泵运行效率基本上都在高效区。所以节能改造的出发点是要

提高单泵运行的效率。另外，低速泵的运行扬程非常接近拐点扬程，容易出现不稳定振动问题，所以要适当提高低速泵的扬程。

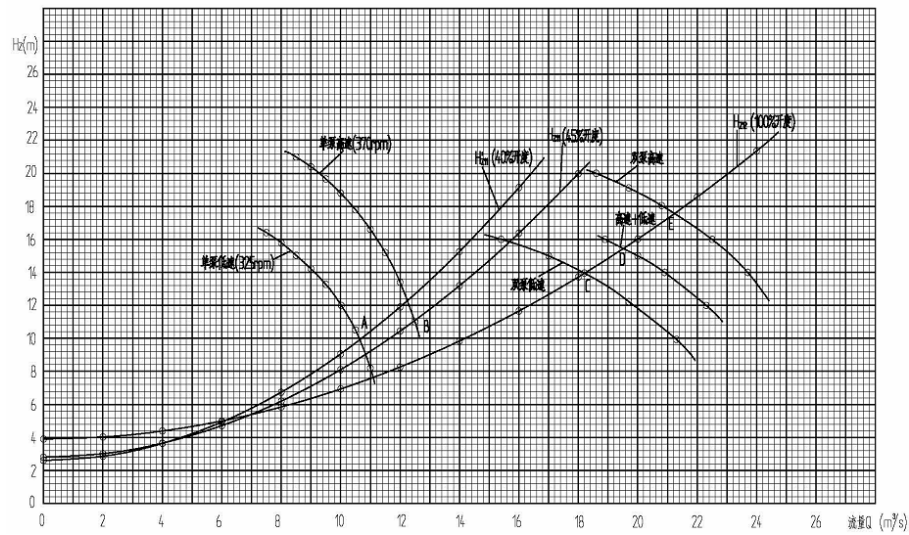


图 14 600MW 机组循环泵运行工况图解

4 振动处理及结论

厂里对#10 循环水泵进行检查，解开对轮后，测量发现水泵提升量由 5mm 增大到目前的 30mm，进一步检查发现导轴承与轴套磨损严重。分析原因主要是低速运转时泵内流体的紊流导致泵振动过大，加速了导轴承和轴套的磨损，而进一步导致叶轮晃度增大，泵运转时导致循环水泵叶轮晃度增大与叶轮室发生碰磨，泵与叶轮室间隙过大，大量回流的产生，加剧了流体的紊流状态，因此泵在高速运转时振动也变差。经对循环水泵叶轮修复，导轴承和轴套更换后，循环水泵高速运转时运行电机振

动正常。
目前节能降耗是发电厂的主要任务，循泵双速改造项目的节能效果可观，大多电厂实施这一改造项目。在项目实施的过程中除了考虑经济性问题，更重要的是考虑设备振动安全问题。改造后循泵低速运行时很容易处于不稳定工作区域，这将会加剧泵转子的振动，从而加速泵机械部件的磨损，使振动继续恶化，最终无法运行。彻底解决循泵低速运行的振动问题还需进一步对：叶轮、叶轮室、导叶体、吸入喇叭口、密封环、下主轴、外接管（下）、下导轴承等进行相关改造。