

# 振动摆度在线监测系统在沙溪水电站的应用

罗广袁 剑 肖盛辉

四川港航嘉陵江金沙溪电开发有限公司(沙溪枢纽) 四川 阆中 638400

**摘要:**水轮发电机组是水力发电的核心。它具有的受力大、工作环境恶劣等特点。而电力生产对发电设备的工作连续性有很高的要求。近年来由水轮机故障到导致的停产事故时有发生,其促使人们想方设法提高的质量,降低发电设备的故障率,而很多机械部件的工作状态可从振动和摆度的变化得到反应。本文认为对水轮发电机组进行振动、摆度的在线监测和数据分析是判断机组运行工况以及故障诊断的有效重要手段。因此,本文从在线监测数据出发,重点探讨沙溪电站电机轴承振动摆度的故障,从而有效降低故障率。

**关键词:**在线监测数据 沙溪电站 轴承振动 故障分析

## 1 引言

沙溪电站安装了3\*29MW灯泡贯流式水轮发电机组,发电机、主轴、转轮三大部件的重力和水流的巨大推力都由组合轴承、水导轴承承担。轴承是水轮发电机组的核心构成部件之一,是一种高度的精密机械器件,作为旋转部件之间的连接的同时,也是要作为支撑零件,承受旋转部件的全部的负载。当机组受到异常电磁力、水流力等作用力后会导致轴承、主轴等部件的振动和摆渡数据异常。因此轴承的振动和主轴的摆渡可以反应机组的实时工况,也可以判断出机组的最优工况运行区间,还可以对机组异常受力情况进行分析。

因此,对机组的振动和摆渡进行在线监测,对异常的数据进行分析,对确保发电机组的正常运转有非常大的意义。

## 2 沙溪电站机组状态实时监测系统

沙溪电站采用VRS8000数采箱技术,该系统采用模块化结构,系统扩展、安装、维护方便,可靠性高。VRS80000数采监测系是模块化结构,除必要的公共模块外(一块主板、一块接口板、一块存储板),有9个插槽可用于自由配置测量模块(键相板、振动/摆度采集板,压力脉动板模拟量输入板、模拟量输出板、开关量板)。

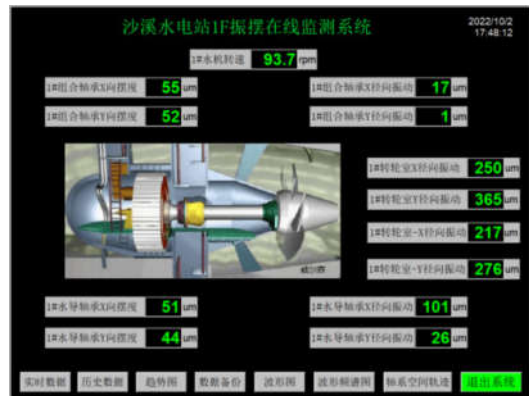
### 2.1 振摆实时监测

对机组的振动、摆度、以及相关过程量参数进行实时、并行、整周期采样,并进行相应的处理、计算和特征提取,在数据采集站液晶显示器、工程师站显示器及网络所关联的有关工作中端上以结构示意图、棒图、数据表格、曲线等形式实时动态显示所监测的数据和状态。

#### 2.1.1 稳态数据分析

本系统具有多种分析手段,分析机组的稳态数据,以评价机组在稳态运行时的状态:趋势分析:分析检测

量随时间变化的趋势。时域波形分析、频域分析、轴心轨迹图、多轴心轨迹图、空间轴线图、瀑布图、极坐标图、轴心位置图、振动棒图和数字显示等。



#### 2.1.2 过渡过程数据分析

为了研究和判断发电机组在启停机、甩负载、转励磁、变负载的转换过程中的情况,系统提出了如下的研究方法:

- (1)对过渡过程波形与频率的研究;
- (2)过渡过程轴心位置变化;
- (3)多轴轨迹:通过比较机组,在转换过程对中轴轨道产生的改变;
- (4)级联图:通过比较某一观测量的过渡阶段的时间成分的不同;
- (5)空间轴线图:分析过渡时中轴线位置的变化;
- (6)影响分析方法:主要分析检测量随工作过程量(速度、负载、励磁等)的变动状况;
- (7)伯德曲线、奈奎斯特曲线、启停机曲线等;

#### 2.2 能量特性监测分析

控制系统采用数据通讯程序,在监测网络中提取电流、输出功率、上下游水位等信号,进行科学合理的运

算，完成对发电机组电能特征的实时监控，揭示发电厂和水轮机的当前运转工况。控制系统还能够进行分析发电机组电能特征和发电机组的振动、摆度和水压脉动等的关联，使用户能够随时了解发电机组的特点，促进发电机组的优化运营。控制系统经过很长时间的积累，能够逐步形成实际的运行特性曲线以及机组的其他主要技术指标，从而得出较优化的运行工况区间，并确定了危险或恶劣工况区间，以便引导机组在尽可能的避免危险工作区间运行。同时，控制系统也能够辅助开展效率测试，并绘制试验的相关图纸。

### 2.3 基于工况的报告与预警系统

本控制系统将根据水轮发电机组的实际运转工况，并按照水头、负载、导叶开启程度等情况将发电机组的工作状况细分为各种情况，各情况下分别设置了告警值，以为发电机组提供了正确地告警信息。本管理系统同时应用趋势预警与数据预警技术，趋势预警指在某一技术参数在统一情况下的变化趋势超过设定值后立即发送警报提醒，而数据预警技术则应用了海量数据对比方法，将当前的数值与预该情况下样本数据进行对比，若发现异常发送警报提醒。

### 2.4 沙溪电站机组故障诊断中心

VRS8000系统开发了一种根据水轮发电机组的工作情况加以分析检测的专业控制系统，可对水轮机、发电厂和主变等多系统实施诊断。本系统软件是在汇总了昆堪院近数十年来对水轮机、发电厂、变压器等设备问题的深入研究与现场实践的基础上，整合了各大电器制造商和部分水泵系统学者们长期以来在水力发电设备故障诊断领域的研究成果，设计制作的。当设备出现预警或报警情况后，系统软件将调用事故诊断系统软件完成检测，并生成有关诊断的报表。

参数列表

参数名称	峰值	有效值	1X振幅	1X相位	2X振幅	2X相位	静态均值	间隙电压	状态
1. 1#水机转速 (rpm)	93.7								正常
1. 1#组合轴承X向摆度 (um)	55.24	14.56	32.83	78	16.84	281.5	1286	-10.29	正常
2. 1#组合轴承Y向摆度 (um)	52.73	13.14	25.64	354.5	18.76	105.5	1390	-11.12	正常
3. 1#水导轴承X向摆度 (um)	49.22	10.65	20.81	116.5	8.41	305.5	1363	-10.9	正常
4. 1#水导轴承Y向摆度 (um)	45.48	9	13.4	11	12.07	177.5	1091	-8.73	正常
9. 1#组合轴承X径向振动 (um)	11.29	2.88	7.44	115	0.63	17	16.79	-0.13	正常
10. 1#组合轴承Y径向振动 (um)	1.91	0.34	0.07	94.5	0.05	174	857.5	-6.86	正常
11. 1#水导轴承X径向振动 (um)	72.95	21.06	41.74	106	2.79	85.5	0.76	-0.01	正常
12. 1#水导轴承Y径向振动 (um)	25.1	5.81	12.36	239.5	1.48	37	0.31	0.00	正常
13. 1#转轮室X径向振动 (um)	249.7	68.86	15.69	108.5	2.55	110	7.63	-0.06	正常
14. 1#转轮室Y径向振动 (um)	363.7	94.19	24.65	175	6.78	214	-2.59	0.02	正常
15. 1#转轮室-X径向振动 (um)	232.8	66.01	5.45	96.5	1.95	175.5	1.37	-0.01	正常
16. 1#转轮室-Y径向振动 (um)	251.1	81.35	2.94	56.5	1.24	191.5	-0.61	0.00	正常
逆程序通道	实值							电压 电流	状态
1. 1#水头 (m)									
2. 1#流量 (m <sup>3</sup> /s)									
3. 1#有功功率 (MW)									
4. 1#无功功率 (MVar)									

### 2.5 诊断设备配置

利用可视化方式完成电站、机组、实物零部件、测点、特征量、感知装置、特征量等对象的构建、配置和列表查询。诊断设备相关对象的 BOM 构建和导入。基于诊断设备相关对象集成其全生命周期数据信息并显示（预留集成诊断设备全生命周期数据的接口规划）。各种特征量的切片、抽样、聚合等查询。

### 2.6 实时故障报警管理

当报警事件发生时，系统自动监测到事件并报警。报警按照严重程度和类别进行分级分类，并以列表、光字牌、语音等方式提供，重要报警提供确认操作，并通过短信平台分级通知相关人员。功能包括：报警提醒、报警分级、自定义报警、重要报警短信通知以及报警查询与统计。

### 2.7 设备故障知识库

包括设备部件基础库、技术参数基础库、故障及处理方案、标准定值库、案例及文档基础库。

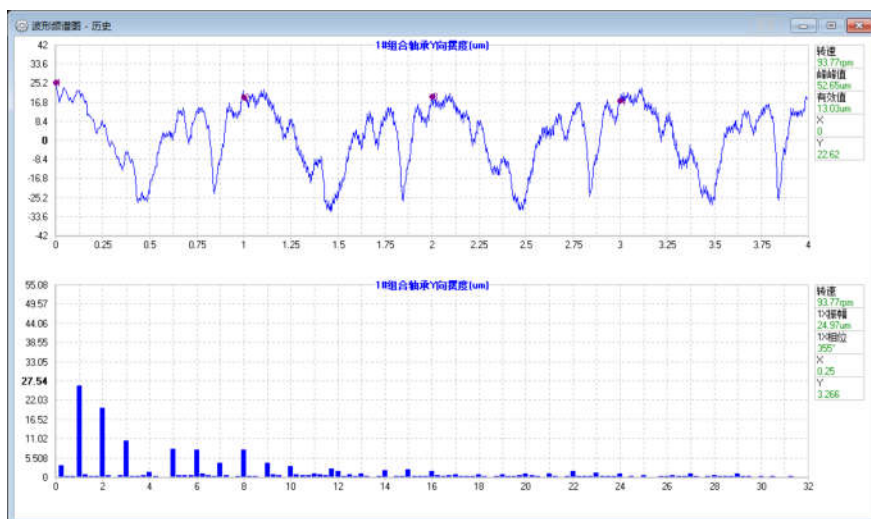
### 2.8 故障分析模型及算法

针对运行大型设备相模的动态变化和多量耦合特性，系统具备加载（采用聚类算法实现对海量数据的挖掘和设备的动态建模的能力并系统通过对历史数据的数据挖掘，形成一个设备或工艺过程的正常运行模型，并将其与实时运行状态进行分析比较，计算出当前值和模型预测值之间的偏差，当这个偏差值大于一定范围，或这一差值有继续放大的趋势时，发现设备存在某类故障苗头或劣化趋势，并通过系统提醒设备管理人员把隐患消除在萌芽状态之内，从而提高设备的可靠性，提高经济效益。

## 3 基于在线监测数据的故障分析

### 3.1 在线监测系统数据分析功能

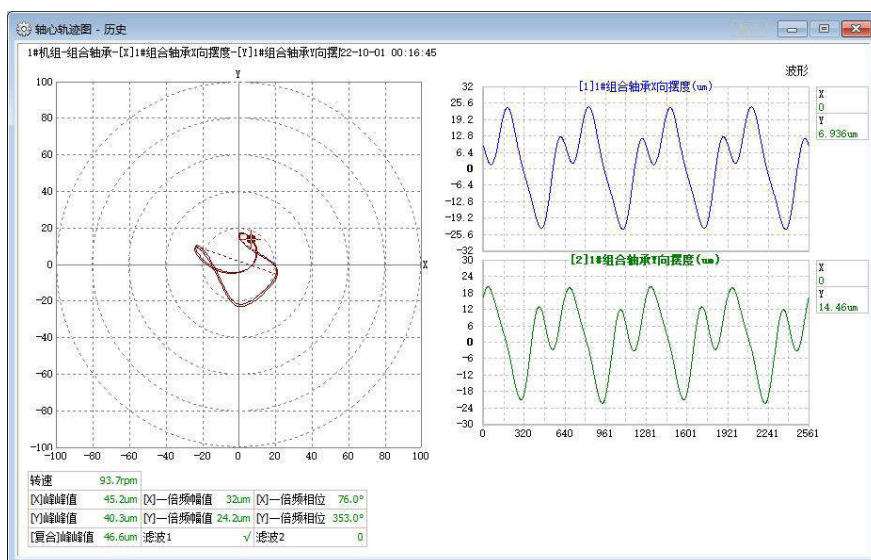
组合轴承摆度波形频谱图



波形图是表示振动信号的瞬时振幅与时间的函数关系的图形。它是振动原始信号时域的表达方法。它的特性和变化预示振动故障的特性及其萌芽,是振动故障诊断中极其重要的信号。

频谱图是把振动信号的幅值作为频率函数的表示法。在直角坐标系中表示振动幅值随振动频率变化的关系曲线,其中X轴表示振动频率,Y轴表示振动幅值。

轴心轨迹图



轴心轨迹图由同一轴承座上两个互成 $90^\circ$ 径向安装的轴振动传感器测量所得交流动态振动波形合成得到的。实质就是在与轴线垂直的平面内,互相垂直的两个振动波形的合成。轴心轨迹图是表示轴心相对于轴承座的运动轨迹,它是在与轴线垂直的平面内。

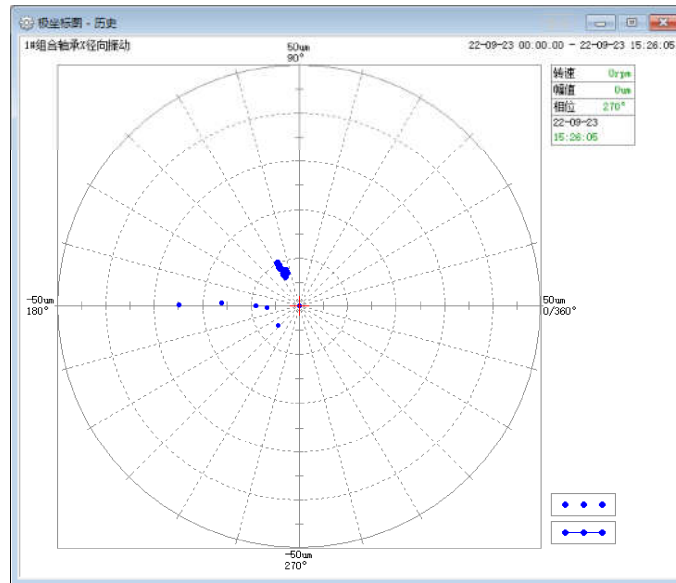
通过快速傅里叶变换,可以得到各振动频率下的振动幅值,把时域的振动波形信号变成频域信号,通常称为频谱分析。

频谱分析是提取振动故障特征极其重要的手段。同一频率振动分量的变化或振动频谱的变化,都预示着振动故障的萌芽和发展。组合轴承

轴心轨迹图能体现轴心相对于轴承中心的稳态位置。可以看出轴承的偏位角、偏心距、最小油膜厚度等,从而判断组合轴承运转是否平稳。可以知道组合轴承位置的变化情况。



组合轴承振动极坐标图



极坐标图表示基频振动的幅值和相位随机器转速的变化规律

### 3.2 机组状态实时监测系统应用实例

#### 实例一

按规程检修后回装进行开机实验过程中, 机组出现瞬间强烈振动, 振动、摆度均超过报警值。通过振动摆度在线监测系统查看机组轴心轨迹, 发现组合轴承轴心轨迹变化范围明显随着机组振动值的增大而增大, 且轨迹不断变化, 与正常状态下机组轴心轨迹形状不变、范围变化小的现象不符。初步判断为机组油膜振荡引起的振动。

随后, 现场对机组进行常规检查, 未发现机组异常部位。同时, 调取机组轴承润滑油温, 发现试车过程中润滑油温迅速升高, 在短时间内超出机组正常运行状态下的最高值。现象与机组油膜振荡引起的振动的情况相符。

通常情况下, 可以通过增大轴承载荷、更换低粘度润滑油、增大轴承间隙、改变轴承的结构形式等方法消除油膜振荡带来的振动。

依据现场实际情况, 增大轴承间隙40um后重新进行开机实验。上述异常振动现象消失, 证实该异常振动确实由机组油膜振荡引起, 与分析结果一致。

#### 实例二

机组运行过程中, 发现发现组合轴承振动超过报警值, 同时摆度值略有增大。通过振动摆度在线监测系统调取机组轴心轨迹, 轨迹变化不明显, 调取组合轴承振动频谱图以及机组转速趋势图, 发现组合轴承轴振动值随转速增大而明显增大, 且在转速1倍频率处增大明显, 其他频率分量处无明显变化。对机组瓦温进行观

察, 发现组合轴承处瓦温有所增加。判断为机组转子质量不平衡。

对机组进行动平衡试验并进行配重后, 组合轴承振动值及摆度值恢复至正常范围, 相应位置瓦温也恢复至正常运行时一致, 证实本次机组组合轴承振动超标确实由转子质量不平衡引起, 与分析结果一致。

### 4 结语

沙溪电站采用VRS8000振动摆度在线监测系统, 对电站29MW灯泡贯流式水轮发电机组的振动和摆渡进行在线监测。在机组状态出现异常时, 使用该系统对异常的数据进行分析, 并依据分析结果对机组故障点进行排查, 恢复机组的正常运行。

通过VRS8000振动摆度在线监测系统, 工作人员能够更加便捷地了解机组的实时状态, 遇到问题时, 能够更直观、快速、有效的判断引起机组状态异常的原因。为确保发电机组的正常运转、推进电站“工业化4.0”建设有非常重大的意义。

### 参考文献

[1]冯源,葛新峰,潘天航,郑源.基于小波变换的水电机组振动故障分析和特征提取[J].云南电力技术,2014,42(06):1-4.  
 [2]袁东东.轴承运行情况判断及故障分析处理[J].应用能源技术,2011(02):18-22.  
 [3].水力发电机组运行稳定性监测及故障分析[C]//2008中国水力发电论文集.,2008:689-693.  
 [4]董鸿魁,丁永胜.水力发电机组运行稳定性监测及故障分析[J].云南水力发电,2007(05):86-90.