

# 利用振动和气隙信息对 水轮发电机组进行监测和保护

付元初<sup>1</sup> 李俊春<sup>2</sup>

(1. 中国水电建设总公司 北京 100029; 2. 北京伟业自动化系统开发公司 北京 100081)

**【摘要】** 介绍利用振动和气隙监测的数据对机组进行保护和故障分析的方法,对系统的结构、配置、功能进行了说明。

**【关键词】** 振动 气隙 机组保护 状态监测

**【数据库分类号】** SZ07

## 1 概述

安装振动监测和气隙测量系统可有效避免水轮发电机组重大事故的发生。本文介绍一种利用振动和气隙信息对水轮发电机组进行保护和监测的全数字化系统,以及用于状态监测和故障诊断的工具。

## 2 传感元件

(1) 气隙传感器利用平板式高频电场原理进行气隙测量。要求传感器能抵抗强磁场的干扰。监测的线性范围从 2 mm 至 33 mm 或 15 mm 至 65 mm。前置器的输出信号包括最小气隙和磁极轮廓以及转子轮廓信号,便于监控系统进行分析和诊断。

(2) 振动传感器通常采用低频为 1 Hz 左右的速度型传感器,输出振动速度信号。目前国际上也采用 0.2~0.5 Hz 的超低频加速度传感器用于测量机架振动,加速度信号经过电荷放大器转换成电流或电压形式的振动加速度信号,再经过先进的数字化仪表进行数字滤波和处理,转换成振动位移信号,其低频的衰减比传统的模拟积分电路要小许多,这样就使测量水轮发电机组低频振动并用振动位移量来表征的工作成为可能。对于测量发电机定子铁芯及机座的振动,由于速度型传感器受磁场的影响较大,采用加速度传感器更为适宜。

(3) 摆度传感器普遍采用电涡流传感器。由于大型水轮发电机组的摆度(即轴振动)可能会较大,因此,使用较大测量范围的探头(如 4 mm 线性测量范围)更适合大型水轮发电机组的摆度监测。

(4) 摆度监测和气隙监测都是相对监测;振动监测是绝对监测。

## 3 机器保护与状态监测的关系

(1) 首先保护系统应具有可靠性。因此,保护系统应尽可能保持简单的状态。而状态监测系统主要用于分析和诊断,其可靠性要求比保护系统要低。

(2) 状态监测系统普遍使用计算机,具有灵活性,并可提供丰富的彩色画面。但是保护系统不

宜完全依靠计算机用于一些关键设备的保护,如果由软件执行保护功能,那么该软件必须经过严格的测试,并且证明是稳定可靠的。

(3) 状态监测系统应该与其它系统分享数据,因此网络通讯必不可少。但保护系统不应过多依赖外部系统,而应能单独工作。

(4) 保护系统应具有非常短的响应时间。如果有灾难性事故发生,而不让机组停下来,则可能会造成更大的损失。因此响应时间应尽可能小。VM600 系统的响应时间低于 100 ms。在监测系统中,响应时间就没有那么重要,只要保证适当的监测画面的刷新速度即可,其目的是在较长周期内跟踪被测参数的变化。

(5) 保护系统要求简单输出,如 4~20 mA 和继电器输出,就地显示。在状态监测系统中,需要大量复杂的图表进行分析和诊断。应该具有远程通讯能力,通过网络,调制解调器以及卫星通信与外部系统进行连接。

#### 4 VM600 机器保护和状态监测系统

水轮发电机组的振动和气隙监测主要有两个方面的含义,一方面是对振动和气隙参数进行测量和保护,提供被测参数的实时值显示和根据给定的极限值进行报警;另一方面是对振动和气隙参数进行在线分析,如频谱分析和趋势分析等,便于运行人员及早发现机组的问题,作出停机检修的决定,避免造成重大事故。

传统的系统都是将这两个功能分开,即保护系统是一个独立的系统,分析系统也是一个独立的系统,这两个系统要经过外部接线或通过网络进行连接。这里介绍的 VM 600 系统则将这两个功能完全集成在一个系统中,并且可根据不同的要求方便地进行系统配置和组态。

使用两种功能模块即可实现上述两个功能,一种用于机器保护,采用先进的数字信号处理器(DSP)和数字滤波技术,通过友好的组态软件来设定与系统配套的传感器输入,滤波器和报警值的选择;另一种用于状态监测和故障分析,也采用先进的数字信号处理器(DSP)和数字滤波技术,通过硬件进行快速傅立叶变换和振动频谱的特征值提取,大大提高了系统的响应速度,使系统能在第一时间捕获到机组的早期故障征兆。该系统能自动探测机器的运行,起机或停机状态,提供在各种状态下的振动和摆度(轴的相对振动)的瞬态频谱和长期趋势,气隙的变化趋势和磁极轮廓的变化,为工厂进行设备的预知维修提供第一手信息。

对于水轮发电机组,发电机气隙,机架振动,摆度,定子线棒和铁芯的监测都希望集中于一套保护和监测系统中。全新 VM 600 系统是一种完全数字化,可编程和可组态的机器保护和状态/运行监测系统。即在相同的系统框架中,能实现保护和状态监测的双重功能。

VM 600 用可装在同一框架中的 2 种专用卡件就可避免因为机器保护和状态监测的不同而需要 2 个不同的系统来满足现场的要求。这两种卡件不仅共用同一框架,而且还共用电源,传感器前置放大信号处理和一个中央处理 CPU 单元。这两个子系统还共用同样的传感器和电缆。然而在这两种卡件中的信号处理给出了不同的答案。保护子系统采用数字滤波技术,是实时的,并且不会丢失信号的采样。数字滤波器类似于模拟过滤器的滤波功能,但具有更高的精确度和更好的稳定性。对于状态监测,CMC16 进行硬件快速付里叶变换法则(FFT),并不是实时的给出结果(有些分析仪采用重叠运算时可以是实时的),因为需要一个较长的采样周期。但 FFT 确实会给出比简单滤波器输出更多的信息用作诊断。

图 1 所示为 VM 600 所有用到的卡件。VM 600 保护系统的中心卡件是 MPC 4/IOC 4T(4 通道机器保护卡和带有输入、输出端子的接口板)。

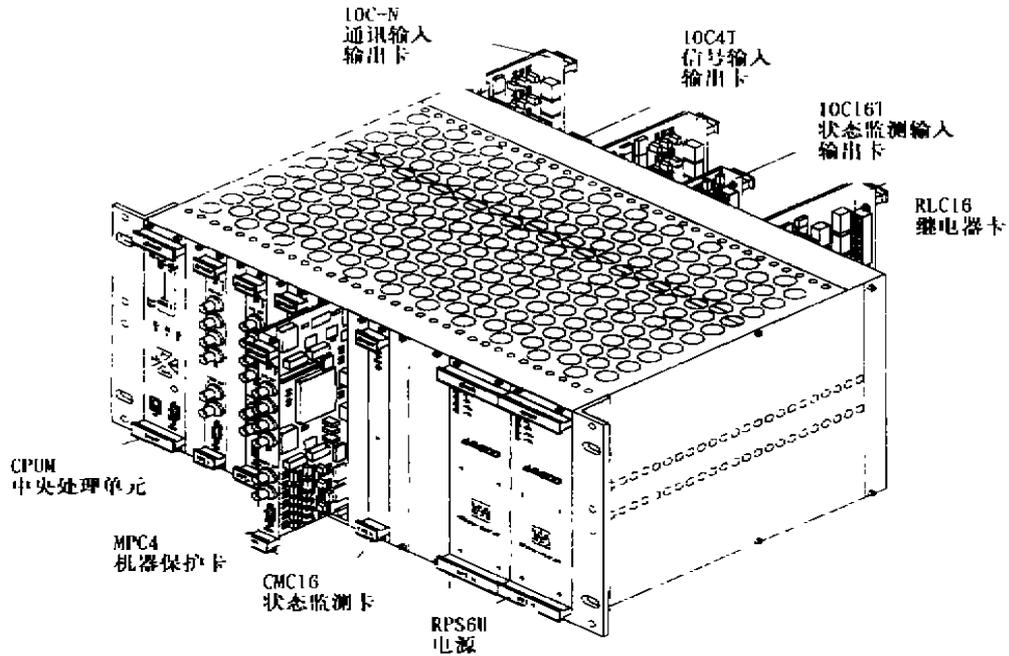


图1 VM600系统框架布置图

MPC 4是完全由软件编程和组态的卡件。组态中不仅有处理的参数设定,还有为传感器提供的电源,放大器增益,前置处理等。IOC 4T接受来自现场的信号,并提供模拟和继电器输出。这两块卡件可一起独立工作,与有没有CPU模块无关。一旦设定完成,CPU可以在MPC 4中读取数据。如果需要增加继电器输出,可增加一继电器卡RLC 16。在CPU-M上有完整的棒图和数值就地显示。

状态监测的中心卡件是CMC 16/IOC 16T(16通道状态监测卡/和带有输入、输出端子的接口板)。1块卡有16通道(动态信号或转速/相位)进行频谱分析和使用其它诊断工具处理。此卡与外界的通讯方式可以是以太网或通过调制解调器或RS232/422/485接口,支持TCP/IP和MODBUS等标准通讯协议,并且可以进行冗余以太网连接。

## 5 用于水电厂监测的信号处理方法

### 5.1 低频模拟信号处理

水轮发电机组运行的速度通常比较低,最低可达1Hz左右,要采集和处理这时的瞬态(运行速度的10%至100%),需要更低的频率响应,如0.1Hz,在这么低的频率上,电子半导体中的噪声消除就变得非常重要,应采用最好的低噪声放大器和稳定的高通滤波器。MPC4可以用于低频测量,其精确度和稳定性为:0.1 Hz(-3 dB)。

### 5.2 模拟积分

当用加速度计和速度传感器测量振动时,都需要将信号进行积分以得到振动的速度值或位移值。在很多情况下,压电加速度计具有比其它设备如速度传感器,压阻传感器,或动圈传感器更好的信噪比。MPC4可以进行模拟积分,在量化前压缩信号的动态范围,这样对于水电厂的应用可以得到最好的信噪比。

### 5.3 窄带数字滤波器

在 MPC4 机器保护卡中采用了多级滤波器,并且允许扩展频率比的范围,这种滤波方式能够监测到转频的振动分量以及在同一带宽内监测到导叶和水流造成的振动分量。MPC4 具有窄带跟踪功能,对某一特定频率的故障进行实时跟踪。可以接受各种传感器的信号输入,如振动,摆度,气隙,压力脉动,温度,导叶开度,抬机量,以及其它电气参数。另外,自适应监测机组的起停机状态以及报警输出的逻辑组合也是特别适合水电厂的监测。

### 5.4 频率或频阶跟踪

进行 FFT 处理的特性是具有转速跟踪的能力。在跟踪模式中,采样与机器旋转同步。1X 倍频(在转频处的振动)及其相位可精确获得,这是频阶跟踪的优点。唯一的不足是当相位信号丢失或不准确时,系统不能正常工作。

因此,先进的系统应该可在固定频率和频阶跟踪两种模式下工作。

### 5.5 特征频带提取

与 MPC4 相反,在 CMC16 中,频带可以通过设定频段中的信号能量叠加从 FFT 频谱中提取。图 2 为在 2 小时运行期间的频带数据采集的结果。显示 3 个轴承的相对振动(摆动)与机组的运行状态相一致:起机过程较短,在最初的 15 分钟内负荷增加,然后平稳运行一段时间,再经过较长时间的停机过程。图中也表明机组最大的振动出现在起机和停机过程。

### 5.6 瞬态采集模式

瞬态操作对于水轮发电机组是非常有用的,瞬态分为 3 个阶段:起机,停机和超速状态。数据自动保

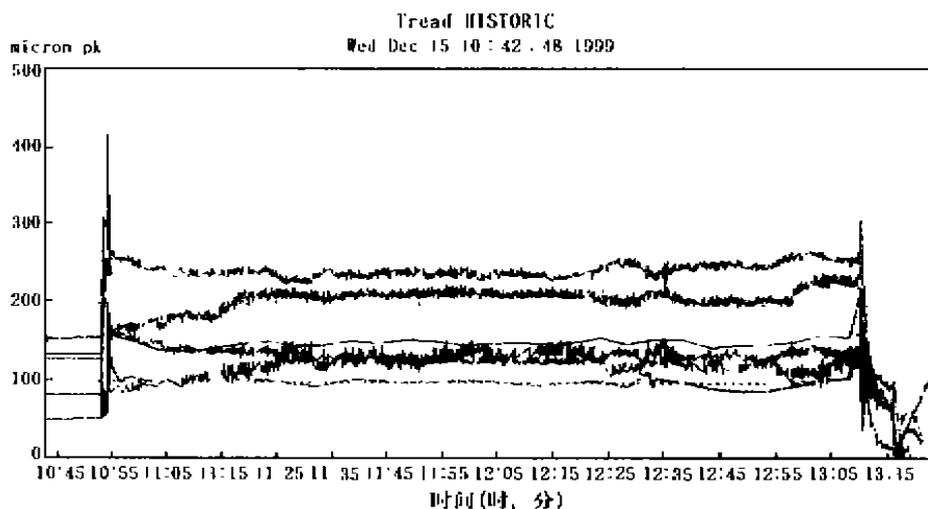


图 2 时间趋势图

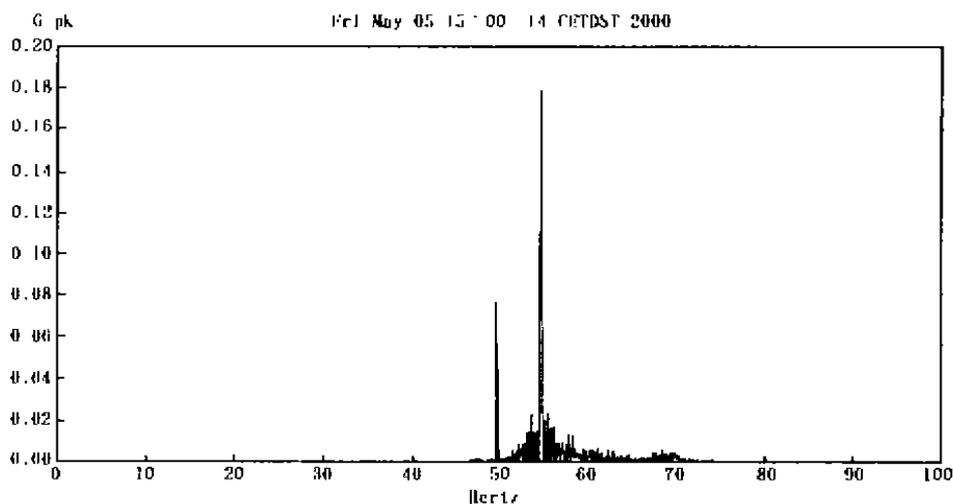


图 3 频谱图

存在先进先出原则的3个目录中。系统设定好后,用户总可以检查到最近的超速振动以及最近的起停机参数。

### 5.7 高分辨率采集

对于状态监测和故障诊断,FFT采集的分辨率需要提高。在VM600/CMC16中,分辨率可以设定为800,1600和3200线。图3中的实测数据表明,当流量为 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 时在导叶上出现导流振动,引起引入钢管上产生55 Hz的共振,并伴有小的背景噪声。只有高分辨率FFT才能得出这种程度的详细资料,这对诊断是必要的。如果要求的分辨率越高,响应时间就越长,但关系不大,因为不用这些数据进行机组保护。

此外,所有通道是并行采集,才能得到真实的轴心轨迹,真实的实际 $S_{\max}$ 值,轴中线图,这些对于竖轴水轮发电机组是很重要的。

### 5.8 气隙信息

采用气隙传感器,对转子轮廓给出了十分详尽信息。图4中的机器有16个磁极,并且每一极都能进行详细的检查。传感器在 $180^\circ$ 处是装于发电机的较低部位,在 $270^\circ$ 处装于较高部位。转子的偏心率可估算出来:大约为1 mm,上下位置的测量结果是相吻合的,都与振幅和最大离心率对应。

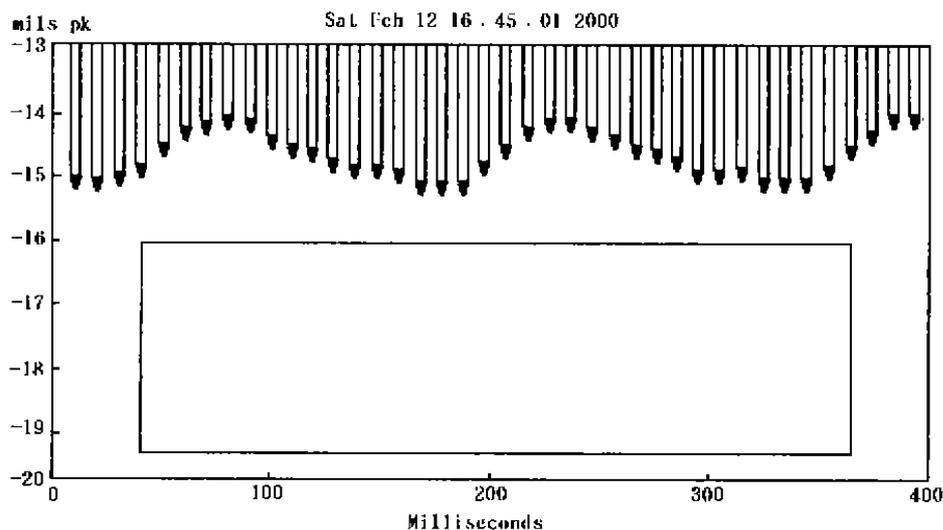


图4 气隙时基图

## 6 结束语

水轮发电机组的振动保护和状态监测越来越受到各水电厂的重视。根据机组的实际情况选择先进成熟的监测和保护系统,并确保能获得良好的技术支持和服务,对于电厂的安全运行,设备管理和预知维修是非常重要的。

付元初 男,教授级高级工程师,中国水电建设总公司副总经理。

李俊春 男,博士,北京伟业自动化系统开发公司总经理。