

传感技术在水轮发电机组振动监测上的应用探讨

郑志太 李朝晖 (华中科技大学 湖北 武汉 430074)

一、前言

水电机组在运行中经常由于机械、水力和电气等方面的原因使其结构和某些部件产生振动。强烈的振动是水轮发电机组运行中常见的一种故障现象。振动机理比较复杂,直观判断和简单的测试,常常难以找到本质原因;而且有些故障与运行参数有关,出现的偶然性较大,故障特征不易捕捉,难以铲除事故隐患。强烈的振动将影响机组的正常运行,而且还会降低机组和一些零部件的使用寿命;当引起厂房、压力管道的共振和机组出力波动时,机组则更无法运行。所以对机组振动进行适时的监测与诊断已得到广泛的关注。传感技术的研究与成熟的位移传感器产品的诞生,是机组振动研究的基础,并使状态监测与诊断系统的建立成为可能。

二、位移传感器的技术

振动检测传感器有位移式、速度式、加速度式。在水电实践中应用最为广泛的是位移式传感器,且多为电涡流传感器。

1. 工作原理

传感器由探头和前置器构成。探头由线圈、骨架、壳体、射频电缆和同轴电缆接头构成。见图 1

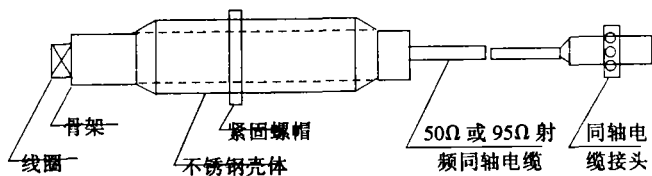


图 1 探头结构示意图

线圈被来自前置器的高频信号激励,产生高频磁场 ϕ_i (见图 2)。当被测得导体靠近线圈时,由于高频磁场 ϕ_i 的作用,在金属表面产生涡流,被测金属导体相当于短路线圈,将产生磁场 ϕ_e ,以抵消 ϕ_i 的变化,使线圈 Q 值降低,其降低程度与线圈平面到被测体表面的距离 δ 有关。Q- δ 表达式为:

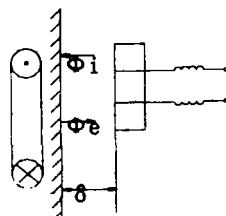


图 2 检测导体示意图

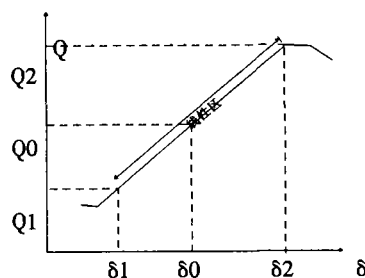


图 3 Q- δ 特性图

$$Q = Q_{0a} (1 + V\delta^2 - W\delta^4)$$

式中: Q_{0a} 为被测导体靠近时的 Q 值。

V、W——分别为待定系数。

Q- δ 特性曲线是一 S 型曲线 (见图 3)。

由此可见,在 δ_1 附近有一个可以选用的线性段,其线性段的大小主要决定探头线圈的外径 D。

在工程上直接测量高频 Q 值是不方便的,因而采用并联谐振法,即在前置器中将一个固定电容 C 与探头线圈并联,再与晶体管 T 一起构成一个振荡器,如图 4。

谐振电压:

$$U_x = I \cdot (L/C)^{1/2} \cdot Q$$

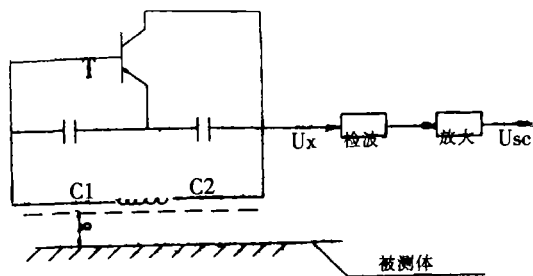


图 4 电涡流传感器原理方块图

由公式说明：谐振电压与线圈 Q 值成正比，即 $U_x - \delta$ 特性与 $Q - \delta$ 特性一致。

2. 技术指标 (见表 1)

表 1

探头序号	线性量程 mm	线性中点 δ_0	非线性度 % · F · S	零值电压 μm	分辨率 μm	频响范围 3dB	稳定度 % · F · S	温标 % / C · F · S
01	0.1	0.3	1	10	0.1	0(dc) ~ 5kHz	0.5	0.1
02	0.3	0.4						
03	0.5	0.5						
04	1.0	0.8			0.2			
05	2.0	1.5						
06	3.0	2.5			0.5			
07	5.0	4.0						
08	10.0	6.0	2			0(dc) ~ 1kHz		
09	20.0	12.0	5					
10	50.0	27.0						

三、位移传感器的应用

1. 在实践中，我们应用位移传感器有效地监测水电机组状态的如下参数：

(1) 上、下导轴承与水导轴承处的轴向、径向振动相对位移量；

(2) 推力头的轴向、径向振动相对位移量；

(3) 上下机架的水平、垂直振动相对位移量；

(4) 顶盖的水平、垂直振动相对位移量；

(5) 定子铁芯的水平、垂直振动相对位移量；

(6) 尾水管的振动振幅量；

(7) 励磁机集电环的水平振动相对位移量；

(8) 大轴轴向相对位移量；

(9) 水轮机、发电机所在楼层楼板振动量。

2. 应用中的几点认识：

(1) 安装位移传感器时，其探头固定架的安装至关重要。固定架应牢固，并便于调整探头与被测体（如转轴、定子等）的距离，使振动振幅量在线性区域内；应保证探头与被测体的中心线垂直，使探头与被测体的相对感应面积较大。

(2) 关键状态参数应布设两个探头。如水导轴承处的摆度，就应在水导轴颈处沿圆周相对 90 度布置两个探头，这样就可以形象地描绘出水导摆度的轴心轨迹圆。

(3) 安装调试后，可以采用接触式千分表进行人工校对。

(4) 在相对稳定的水轮发电机组上，为了及时发现导瓦、机架螺丝松动，桨叶协联（轴流转桨式机组）破坏，电网振荡等引起的危害机组的振动，可

以应用位移传感器检测主轴的摆度，上下机架水平、垂直振动，各导轴承的油膜厚度与抬机等情况，并通过设定越限报警值与事故停机值来保护机组，所以这类振动检测应采用在线的。

(5) 对于某些机组要查找疑难的振动原因，则可以通过位移传感器进行全方位的振动检测，包括尾水管的振动，水轮机楼层、发电机楼层的振动等。再对检测到的各种参数进行分析，找出振因，制定对策。

四、机组振动分析诊断

应用位移传感器检测到的机组振动状态参数，目的用于判别发电设备健康状态程度，为设备运行、维护、检修甚至技改决策提供参考依据。所以对振动状态参数的分析诊断尤为重要。

1. 动态检测参数分析

(1) 振幅：振幅是表示机组振动严重程度的一个重要指标。通过检测振幅，可以判断机组是否平稳运行。

(2) 频率：振动频率是进行振动诊断的一个重要的参数，对水电机组来说，振动频率往往表现为机组转速的整数倍和分数倍。例如：1 倍转速、2 倍转速、1/2 倍转速。

(3) 相位：相位测量对转动部分来说，是分析动平衡的一个重要参数。通过该参数，可确定转动体残余不平衡的位置，从而进行正确的动平衡。

(4) 振动波形：振动波形分两种，时基波形与轴心轨迹。通过观察时基波形，就能确定基本的振幅、频率与相位。通过观察轴心轨迹，能够了解轴的实

际运行情况，所以振动波形是一个最基本参数。

(5)振型：所谓振型就是轴在一定的转速下，沿轴向的一种变形。振型测量有助于估算转动部件与固定部件之间的间隙，并估计出转轴上“布点”位置。

2、静态检测参数分析

(1)偏心位置：偏心位置是对轴承中轴的稳定位置测量，例如：机组盘车找中心。

(2)轴向位置：是对转轴在轴线方向位移的测量，例如监测机组推力轴承油膜，观察机组抬机的现象。

3、振因分析诊断

现在，振动原因的分析诊断，可以通过计算机专家诊断系统，即可以将位移传感器检测到的各种

表 2

振动原因	振动频率	振动原因	振动频率
转子质量不平衡	1 × rpm	不同心和轴弯曲	1 × rpm 2 × rpm
磨擦	1 × rpm 1/2 × rpm	尾水管压力脉动	1/2 - 1/4rpm
镜板波浪度	Z × rpm (Z 为推力瓦数)	导轴瓦故障	Z × rpm (Z 为导轴瓦数)
转轮叶片故障	Z × rpm (Z 为叶片数)	导叶故障	Z × rpm (Z 为导叶数)
定子铁芯轴向松动	100HZ	定子铁芯周向松动	100HZ
定、转子空气隙不均匀	1、2、3…… × rpm	卡门涡	0.15 - 0.2 (绕流流速/绕流体直径或厚度)

(2)振幅特征规律。例如：

①振幅随转速增加而增加，与转速平方成正比的振动，一般是转子质量不平衡引起的。

②振幅在某些负荷区域内增加，而在另一些负荷区域内振动很小或消失，其振动频率可能改变，且具有较大幅度的垂直振动；在尾水管中有敲击声和不正常的噪声，并可能伴随着出力波动。这类振动一般是尾水管压力脉动引起的。

所以，对振动原因的诊断，要根据振动频率、

机组状态参数通过放大、滤波和 A/D 转换传输给专家诊断系统，该系统就能提供大量的数据和图形，并给出最终的诊断结果。工作人员根据这些资料和平时积累的经验进一步判断，找出原因，制定措施，解决问题。

计算机专家诊断系统，其实是工程技术人员应用计算机将水轮发电机组振动的机理加以分类、整理而生成的各种振因的判别标准，所以，在专家诊断系统里应充分考虑以下方面：

(1)振动频率。因为不同的振动往往会引起某种特定的频率。表 2 列出水轮发电机组通常发生振动的特征频率。

振动变化规律以及经验综合进行。

五、小结

选用电涡流位移传感器对水电机组状态进行监测而采集的各种参数，传输给计算机专家诊断系统。专家诊断系统通过设置越限报警值与事故停机值来有效地保护发电设备，并给出机组运行状态或正常或振动超标，同时给出振因与解决措施。所以位移传感器对水电机组状态监测与诊断系统的研究与建立是至关重要的。

.....

我国确定国家节水标志

我国有了宣传节水和对节水型产品进行标识的专用标志。

“国家节水标志”由水滴、人手和地球变形组成。绿色的圆形代表地球，象征节约用水是保护地球生态的

重要措施。标志留白部分像成江河。一只手托起一滴水，手是拼音字母 JS 的变形，寓意节水，表示节水需要公众参与，鼓励人们从我做起，人人动手节约每一滴水，手又像一条蜿蜒的河流，象征滴水汇



国家节水标志

(摘自《世界能源导报》)