

⑨
67-72

大型水轮发电机组振动摆度 测试分析系统的研制

曹剑绵 丁康 TM312.014

摘要 本文介绍的DAS水轮发电机组振动摆度微机测试分析系统是以AST286微型计算机为核心的测试系统,该系统由DP低频振动传感器, BN电涡流位移传感器、转速计, 多通过信号转换接口箱, A/D, D/A 转换板, AST286 微机, M¹1724打印机及DAS动态信号分析软件包组成。该系统性能好, 精度高, 功能强, 速度快, 操作方便, 适于大型水轮发电机组的运行稳定性测试研究。

关键词 稳定性 低频振动, FFT幅值 频谱轴心轨迹

✓水轮发电机, ✓测量

1 前言

众所周知, 水轮发电机的振动一直是威胁机组稳定运行, 安全满发的重要原因。调查表明, 在水电厂因机组剧烈振动而强迫停机的事故时有发生, 给工农业生产和国民经济带来了重大经济损失。

以往在检验新机组设计制造和安装质量时, 一般所采用的是传统的应变梁配光线示波器, 甚致部分中小型电厂仍采用百分表观察振幅大小。如此的试验方法和测试手段, 显然远远不能适应我国现有大中型水电设备运行管理和新型水电机组设计开发的要求。由于国产水电机组单机容量越来越大, 结构越来越复杂, 对机组运行稳定性的要求也就愈来愈高, 所以对大型水轮发电机组的振动

摆度研究提出了新课题。随着有限元和计算机技术的发展, 尤其是各种大型有限元计算程序的引进, 理论分析已日渐成熟, 近几年已经取得了较多的成果。1987年我们承担了国家“七五”项目“三峡及大型水轮发电机组刚强度计算与试验研究”课题中“大型水电机组振动摆度测量”子项目的研究工作, 经过几年的努力取得了较大的成果。在应用先进的引进仪器设备(如HP3582A、ADRE II、GR2515CAT等), 对龙羊峡、葛州坝、石泉等大型水电机组的振动摆度及压力脉动进行全面系统的现场测试和分析的基础上与清华大学, 重庆大学合作开发研制出“大型水轮发电机组振动摆度微机测试分析系统。在系统研制过程中, 我们借鉴和吸收了国内外的最新研究成果, 采用了下限

来稿时间: 1992.6

频率为 0.7Hz (-3dB) 的特殊超低频绝对式振动传感器测量固定部件的振动, 下限频率为 0Hz 的电涡流位移传感器检测大轴摆度, 使低频测量技术取得了很大突破, 引入了多通道微机测试技术, 可完成32路信号的采集, 分析与存贮, 测试结果通过打印机和绘图仪输出, 编制了具有数据采集与波形监视、信号处理、系统分析与振动监测及故障诊断功能的中文彩色显示 DAS 动态信号分析软件包, 研制了两台具有多通道放大, 抗混滤波和 $\pm 13\text{V}$ 直流偏置电平移位功能的信号转换接口箱。该系统研制成功后, 在实验室与引进仪器设备进行了大量性能对比试验, 在电厂与传统测试方法进行了比较, 并进行了场现试验考核。试验表明, 该系统具有性能好、精度高、功能强、速度快、操作简单和实用性强等特点。

2 系统组成及特点 (图1)

DAS 水轮发电机组振动摆度微机测试分析系统是以AST286 微型计算机为核心的测试分析系统, 由DP低频振动传感器、BN电涡流位移传感器、转速计、多通道信号转换接口箱、A/D、D/A转换板、AST286微

型计算机、M1724打印机以及 DAS 动态信号分析软件包组成。各部分的结构特点、性能指标及其功能简介如下:

2.1 硬件部分

2.1.1 传感器

DP振动传感器是一种高稳定的, 用于超低频回转机械振动测量的位移传感器。它采用了高稳定性磁电式振动速度传感器与低频扩展电路相匹配并组装成一体, 扩展电路具有一次积分和低频补偿的作用。其低频特性较好, 0.7Hz 的频响函数为 -3dB , 最大振幅大于 0.80mm , 幅值线性度优于 $\pm 3\%$, 传感器直接输出振动位移信号, 灵敏度为 8v/mm , 可直接通过磁性座固定在水轮发电机组上下机架及顶盖等固定部件上, 安装使用方便。

大轴摆度采用 4mmBN 电涡流相对式位移传感器检测, 该传感器具有灵敏度高, 线性度好, 频响范围宽, 稳定可靠的特点, 是当今用于水电机组大轴摆度测量最好的传感器。在大轴上开一小槽, 由正对该槽的BN探头检测出转轴每转一圈产生一个脉冲的时间脉冲序列, 由计算机控制完成转速监测和转速跟踪分析。

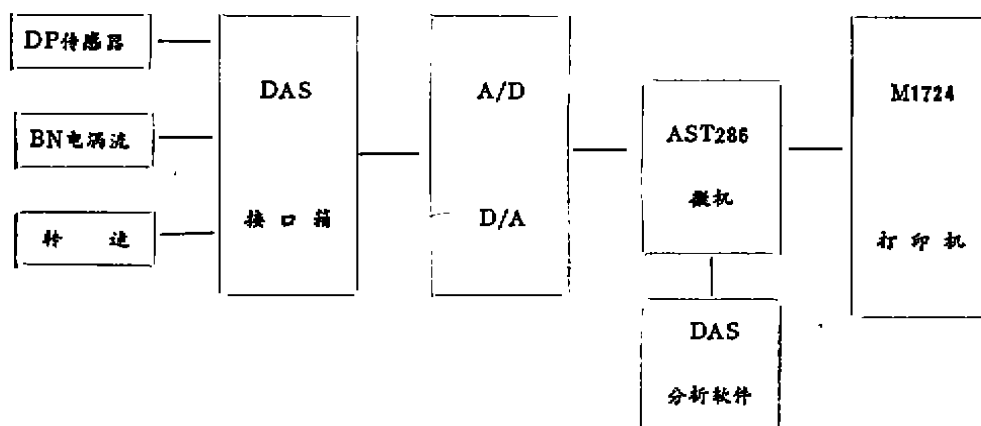


图1 DAS测试分析系统组成框图

2.1.2 信号转换接口箱

自行研制了两个信号转换接口箱,每个接口箱设16个信号通道,其中9个直通通道,7个通道具有放大,滤波和电平移位功能。放大器增益设定了5档,分别为0.316、1、3.16、31.6可根据实测信号的强弱进行调节,滤波器上限截止频率分别为100Hz、200Hz、500Hz、1KHz和2KHz。截止频率的频响衰减为 $-3\text{dB} \pm 1\text{dB}$,带内波动率($0-2/3f_{\text{max}}$)小于2%,信频程衰减率大于等于36dB/OCT,各档的放大倍数误差小于2%。由于其后接A/D板输入信号范围定为 $\pm 5\text{V}$,而在进行摆度测量时,电涡流探头总有10V左右的直流偏置电压,致使A/D输入信号超载无法进行正常测量,而必须进行间隔直处理,常规的电容隔直技术会大大衰减低频摆度信号的幅值,引起测试信号的严重失真。为此,我们采用了直流电平无级平移技术,通过反相直流电平与被测信号叠加来完成偏置调零,这样就满足了A/D输入范围的要求,也能确保测试信号不失真。用HP3582A频谱分析仪对各通道的频响特性进行全面测试的结果表明,接口箱完全满足设计要求。

2.1.3 A/D、D/A转换板

采用了中国科学院科理高技术公司生产的AD3A型通用的A/D、D/A转换板。该板是为IBM-PC系列的微机及兼容机专门设计的通用12bit模数,数模转换板,直接插在总线槽内,该板有32个模拟量输入通道,一个模拟量输出通道,采用了高档的A/D转换芯片,具有较高的实用价值,其主要技术指标如下:

1) A/D部分

- ①分辨率 12bit
- ②精度 优于0.1%
- ③输入范围 $\pm 5\text{V}$
- ④输入阻抗 大于500M Ω

- ⑤采样频率 30KHz、20KHz、10KHz、5KHz、2KHz、1KHz、500KHz、200Hz、100Hz、50Hz、20Hz、10Hz、5Hz、2Hz

- ⑥触发方式 软件触发、自由触发、外触发

- ⑦接口方式 查询或中断

- ⑧码制 二进制编移码

2) D/A部分

- ①精度 12bit $\pm 1/2\text{LSB}$

- ②建立时间 25 μs

- ③输出范围 $\pm 5\text{V}$ 、 $\pm 10\text{V}$

2.1.4 计算机

采用AST286/140微型计算机,时钟为10MHz,内存1M,含40M硬盘,1.2M和160K的双软驱动器,VGA彩色显示卡,3024 \times 768彩色显示器。

2.1.5 打印机 采用M1724打印机

2.2 软件部分

2.2.1 软件主要功能

本软件主要可以完成以下四个方面的工作

1) 数据采集与波形监视

可完成单通道,多通道的A/D转换、数据采集、显示、回放、作连续数据采集、存贮,对采集的数据进行零均值和多段平均化处理,实时监视信号波形及幅值等。

2) 信号处理

本系统可作为一个信号分析与数据处理通用仪器,在信号处理功能方面完全可以取代各种进口仪器设备,其信号处理功能包括:

①窗处理,有矩形窗、汉宁窗、指数窗等十余种窗处理功能。

②时域分析,包括波形分析、形态分析、双峰值、最大最小值、均值、方差、标准差、均方值等功能。

③时延域分析, 包括自相关和相互分析。

④频域分析, FFT、IFFT、自谱、幅值谱和对数谱。

⑤幅值域分析, 概率密度函数和分布函数。

⑥其它, 包括细化分析、时序分析、倒谱分析、数字滤波和解调分析

3) 系统分析

①互谱分析

②传递函数分析

③相干函数分析

④脉冲响应函数分析

4) 振动监测

①特征分析, 包括阶次谱、阶比谱、阶跟踪、坝贝尔图、三维谱图等

②同步平均分析, 转速同步平均和同步谱

③轴心轨迹分析

④多通道振动幅值监视

⑤多通道振动波形监视

⑥多通道振动频谱监视

除以上4个主要功能外本软件还有故障诊断, 模态分析和信号发生等特殊功能, 这里不一一叙述。

2.2.2 程序主要技术特点

1) 全汉字系统, 采用 CCDOS 作为计算机的操作系统, 利用编译 BASIC 语言汉字管理功能强的特点, 作为程序管理部分的主要语种, 很好的解决了汉化问题。

2) 菜单操作, 窗口参数设置: 各功能均采用汉字提示下的菜单选择方式, 而测量参数的选择则采用窗口式修改的方式, 大大方便了操作, 提高了整体测量速度。

3) 各种语言结合, 模块化编程技巧: 本程序充分发挥了编译 BASIC 的汉字功能强, 管理灵活, 图形处理功能强,

FORTRAN 语言复数运算强和汇编语言快速的特点。利用编译 BASIC 编制各种系统管理和图形处理软件, 利用 FORTRAN 进行大量的复数运算, 应用汇编语言来编写各种数据采集, FFT、IFFT 运算, 各种频谱分析, 数字滤波及动画显示程序, 而且很好的解决了各种语言之间的相互调用。对几十个基本的分析功能, 如 FFT, 特征分析, 数字滤波, AR 和 ARMA 求谱, 转速跟踪滤波等用汇编语言编制成基本模块, 其它各功能的运算, 可通过直接调用这些模块, 并将运算结果进行适当组合来完成。

4) 灵活方便、功能齐全的图形显示: 本系统将测试分析的结果以各种图表的形式在屏幕上显示, 操作者可通过光标和各种功能键来随时修改所显示的图形。

3 应用实例

该系统用于铜街子水电厂 *1 机 150MW 水轮发电机组上架振动测试, 并与四川省电力试验研究所采用传统的光线示波器进行测量的结果进行了精度对比, 结果列干表 1。

由中国测试技术研究院在超低频检验台上对 DP 型传感器进行标定, 试验时将标定系数直接设入计算机, 由计算机完成对振动信号的采集, 计算和分析, 并打印出振动时域波形和幅值, 其幅值精度达 0.001mm。电力试验研究所采用百分表对光线示波器进行标定, 然后对振动波形进行记录, 通过量取记录纸上波幅所覆盖的宽度或数格子的办法计算振动幅值大小, 在处理数据上花费很多时间。另外, 光线示波器只能记录振动摆度时域波形, 而 DAS 测试系统可对所测信号进行各种分析变换, 完成多种功能的测试, 如振动摆度频谱, 大轴回转轴心轨迹等, 可提供许多机组运行状态的信息。这对分析机组运行稳定性, 防止事故发生, 确保机组安全运行具有十分重要的意义。图 2 ~

表 1 铜街子#1机振动测试对比

单位: mm (峰峰值)

工况	测点			
	上机架X方向振动		上机架Y方向振动	
	DAS (我厂)	SC-16 (中试所)	DAS (我厂)	SC-16 (中试所)
35MW	0.0861	0.080	0.0819	0.070
76MW	0.0698	0.060	0.0670	0.076
150MW	0.0697	0.062	0.0761	0.068

图 8 给出了碧口水电厂#2机组在 100MW 负荷运行工况下的部分测试结果。结果表明, 机组上机架, 顶盖振动和大轴摆度值均较小, 振动摆度以转频为主, 顶盖振动高频成分较多, 主要由水力激励引起的。上导轴心轨迹呈椭圆形, 其长轴远大于短轴, 表明上

机架 x, y 方向刚度差别较大。现场试验考核表明, 该系统精度高, 功能强, 工作稳定可靠, 完全可以用于大型水电机组运行稳定性试验研究。

参加该系统试验的有陈小沁, 黄颖, 马滨宁。

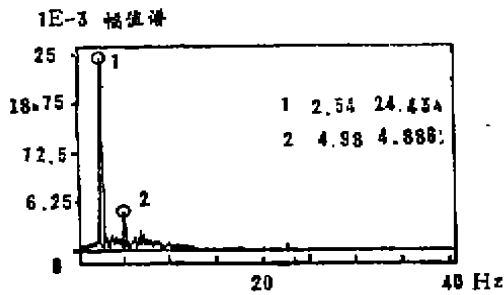
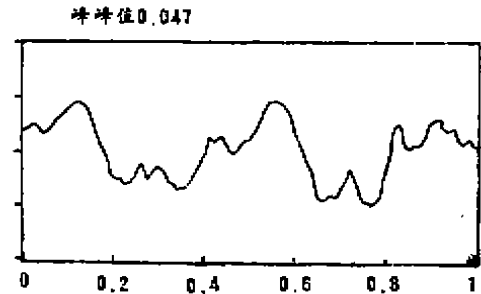


图 2 机架x向水平振动谱



上机架x向水平振动位移波形

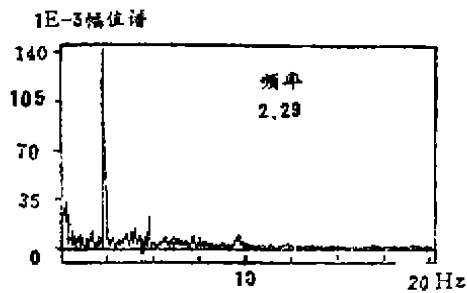
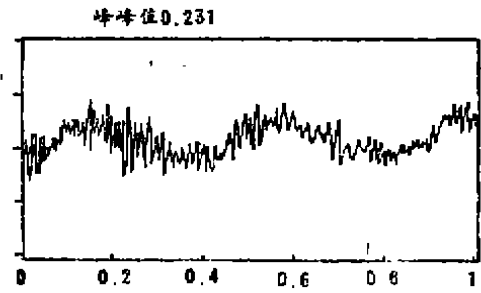


图 3 上导x向摆度谱



上导x向摆度波形

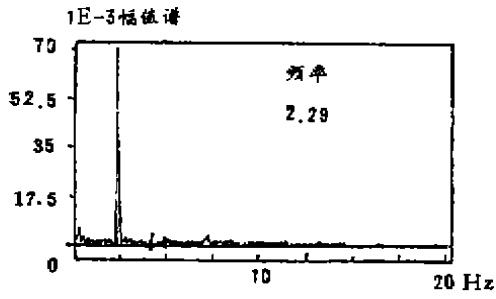
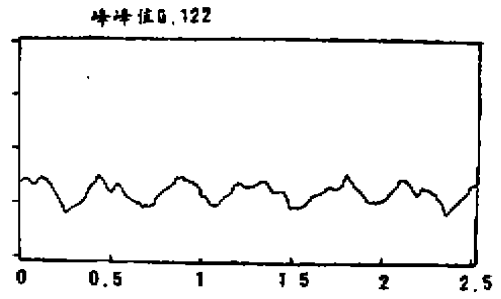


图4 上导y向摆度谱



上导y向摆度波形

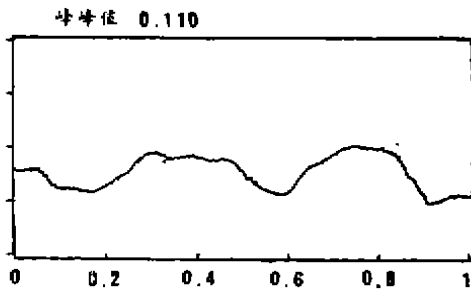


图5 水导x向摆度

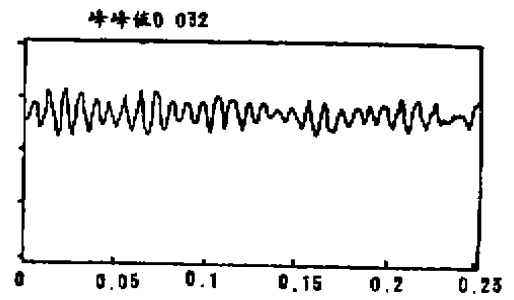


图6 顶盖x向垂直振动

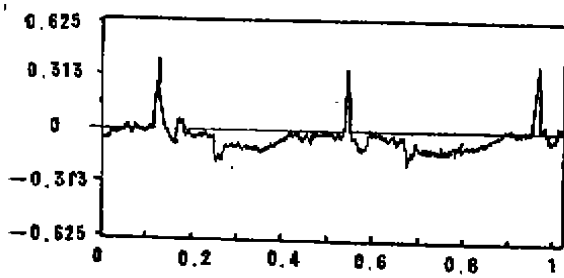


图7 转速时间脉冲序列

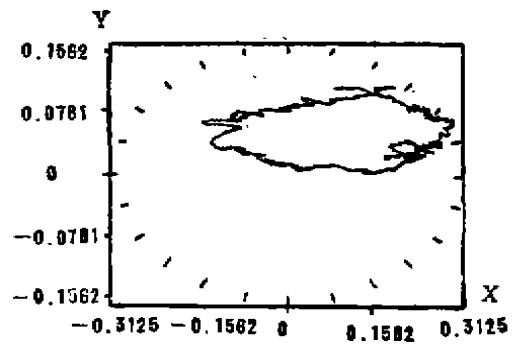


图8 上导轴心轨迹