



天道酬勤

地灵物华

人心向善

和谐昌盛



CRAS V7.4 升级版于 2015 年 1 月投入使用、免费升级



CRAS V7.4 版本软件共有20个基本程序

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1、AdCras 数据采集及处理     | 11、St_YL 应变雨流计数疲劳载荷谱 |
| 2、SsCras 信号与系统分析     | 12、MESA 最大熵谱分析       |
| 3、MaCras 机械与结构模态分析   | 13、VTRP 振动测量和记录      |
| 4、DmCras 结构动力修改      | 14、NTRP 噪声及振声相关分析    |
| 5、DZRZ 发电机定子绕组机座动力特性 | 15、SkCras 冲击波形及响应谱   |
| 6、YPCP 叶片测频及数据管理     | 16、NzJzq 扭振减振器动力特性测试 |
| 7、SINSWT 正弦扫频动力特性    | 17、Env_Spt 包络谱分析     |
| 8、VmCras 旋转机械振动监测及诊断 | 18、SLDC 桥梁索力动测及数据管理  |
| 9、ZzDph 转子现场动平衡      | 19、ZNTX 阻尼材料动力特性     |
| 10、StCras 动应变及动应力分析  | 20、DJDC 地基动力特性试验     |

- V7.4 版支持 32位的操作系统，支持 64位的 Win7 及 Win8 操作系统。**AZ308 等老用户升级 64位 V7.4 必须更换芯片。**
- 增加了用于滚动轴承及齿轮箱故障诊断的 Env\_Spt 包络谱分析程序、用于动强度分析的 St\_YL 应变雨流计数疲劳载荷谱以及 MESA 最大熵谱分析用于短时记录频率分析的时域谱分析方法并获得工程应用。
- 旋转机械振动监测及诊断软件增加了在汽轮机及泵振动分析中应用甚广的坎贝尔图(Campbell)。
- V7.4 版 CRAS 软件扩充4种版本以支持最新硬件数采分析一体机：AZ404\_A\_H、AZ404\_A\_L、AZ404\_B\_H及AZ404\_B\_L。其中 AZ404\_B\_H 及 AZ404\_B\_L 采用模拟及数字混合低通抗混滤波器，体积及重量减少许多。



AZ404\_A\_H



AZ404\_A\_L



AZ404\_B\_H



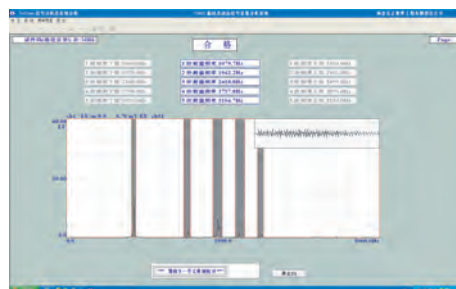
AZ404\_B\_L

\*\*\*\*\*  
\* 工业新产品 \*  
\*\*\*\*\*

### 汽车刹车盘生产线固有频率自动测试仪

(本产品为上海麦睿测量技术有限公司测试台位及 PLC 控制器配套)

该产品经美国福特公司确认可以替代台湾同类产品用于汽车刹车盘生产线上固有频率的自动检测和记录。



\*\*\*\*\*  
\* 科技成果 \*  
\*\*\*\*\*

参加国网山东电科院负责的“输电塔动力特性检测技术研究及应用”项目于2014年11月2日经国网山东省电力公司组织由雷清泉院士等专家鉴定，获得极高的评价。

根据相关国家标准开发的“DZRZ 发电机定子绕组机座动力特性”及“MaCras 机械及结构模态分析”用于整圈叶片动频测试和评定已经获得绝大多数省电科院及大量发电企业用于制造出厂检验、新品安装调试及大修。由于上述两项试验对发电企业属于新的检测项目，试验技术比较复杂，用到试验模态分析技术理论和经验，本期简报用2、3、4三个整版对这两项试验的一些经验和注意事项进行专题讨论。

专题讨论

发电机端部绕组及机座动力特性测试

(特别感谢东方电机振动试验中心陈昌林主任、陈小沁高工以及山东电科院孙树敏总工对本专题的指导和支持。)

相关标准

- 1、DL标准“DL/T 735-2000 大型汽轮发电机定子绕组端部动态特性的测量及评定”；
  - 2、JB标准 JB/T 8990-1999，后已被“JB/T 10392-2002 透平发电机定子铁心、机座模态试验分析和振动测量方法及评定”替代；
  - 3、GB标准“GB/T 20140-2006透平型发电机定子绕组端部动态特性和振动试验方法及评定”。
- 四个标准在适用对象、测试项目及评定标准方面略有差异。

| 标准                 | 适用对象                                      | 测试项目                                                    | 椭圆形振型模态评定标准                                                                                        |
|--------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DL/T<br>735-2000   | 200MW 及以上                                 | 定子绕组端部整体模态试验；<br>定子绕组鼻端接头固有频率测量；<br>定子绕组引出线和过渡引线固有频率测量。 | 3000 转：≤95， >115Hz<br>3600 转：≤114， >138Hz                                                          |
| JB/T<br>8990-1999  | 300MW 及以上<br>3000 及 3600RPM<br>300MW 以下参照 | 制造厂型式试验时端部模态试验；<br>出厂前大修后及在电厂有异常情况时做端部绕组的固有频率测量；        | 3000 转：≤94， >115Hz<br>3600 转：≤113， >138Hz                                                          |
| JB/T<br>10392-2002 | 50MW 及以上                                  | 制造厂内型式试验时做定子铁心及机座的模态试验及振动测量。                            | 定子铁心及机座<br>≤90， ≥110Hz                                                                             |
| GB/T<br>20140-2006 | 200MW 及以上<br>3000 及 3600RPM<br>200MW 以下参照 | 出厂前、新机交接、大修及运行异常时做端部模态试验和引线固有频率；                        | 3000RPM 刚性支撑：≤95， ≥110Hz；<br>柔性支撑：≤95， ≥112Hz。<br>3600RPM 刚性支撑：≤114， ≥132Hz；<br>柔性支撑：≤114， ≥134Hz。 |

注：核电机组等 1500RPM 半速机组发电机动力特性尚无国家标准，东方电机采用四边形振型的频率作为依据，评定标准仍然是不落在 100Hz 附近为合格。

试验注意事项

- 发电机铁心筒体、励端及汽端绕组是一个整体。由于筒体中绕组固定埋在线槽中，为了简化模态试验，对筒体部分不进行。将汽端和励端作为两个作业分别试验，它们都是一个圆锥体，用 MaCras 或 DZRZ 软件自动生成几何模型，沿轴向可以只测一周、两周或三周，沿周向可分成12~24等分，即每周测12~24个点。在锤击作用下靠近筒体部分的振动一般很小，这一圈可以用约束方程置零。
  - 根据大量不同功率的发电机的端部的模态试验结果，前3阶振型(椭圆型、三瓣形、四瓣形)频率都在200Hz以下。分析频率范围可以选为200Hz或500Hz。但选200Hz操作比500Hz较困难，而选500Hz的频率分辨率为1.25Hz，可满足标准评定的要求。必须准确设定抗混滤波器截止频率与分析频率相同，也可以用500Hz 分析频率范围，而抗混滤波设定为200Hz。
  - 加速度计固定在线棒上的牢固程度至关重要，可用不同方法，但一定要牢靠。推荐用扎带绑紧在绕组上并用螺丝刀或竹签塞紧。
  - 用固定加速度计、移动力锤敲击点位置测量全部自由度的频响函数(机械导纳)。
  - 力锤的大小影响敲击力，一般可用5kN 或10kN。加速度计应选择灵敏度较高的，如 1V~10V/g。在移动锤击点试验之前必须正确选择1通道力信号的放大倍数和2通道加速度的放大倍数以保证在加速度计附近及最远处得到的力信号振动响应加速度信号适中。模态参数拟合效果差的原因往往是采集的力信号很大甚至过载，而振动信号极小。
  - 相干函数是评定锤击所得频响函数质量的依据。平均次数可选2~4次，若只选1次看不到相干函数，判断不了试验导纳的质量。
  - 通常情况下汽端模态振型比较规则(椭圆、三角、四边等)，励测较差的原因是引线对励测端锥体振型有影响。
  - 在全部测点频响函数集总平均曲线上，往往不只是上述几个模态频率的高峰，原因是敲击励测时，筒体及汽测的固有频率，也会在信号中反应。作为励测筒体汽测一个整体，模态很复杂，还有晃动性，甚至扭转型振型对应的频率，这些我们在评定端部动力特性时都可以不必考虑。
  - 电厂安装或大修现场电源及磁场干扰较大，可能在采集的振动及力信号中带有较强的 50Hz及其倍频100Hz干扰。当集总平均曲线中有明显的 100Hz频率成分时，必须判定是否正是端部绕组的固有频率还是电源干扰。最新的CRAS数采系统都具有直流供电功能，用较大能量锂电池替代车间 220V 电源对降低50Hz干扰有明显作用。
  - 虽然根据标准只需要判断椭圆型振型模态，但成功的模态试验应该还能拟合出三瓣、四瓣甚至五瓣的模态。
- 最重要的是在出发去现场进行试验之前，必须首先对传感器、调理仪、采集器以及USB 通讯电缆等检查一切正常，不要临到车间才发现采集系统不正常根本不能采集振动信号。

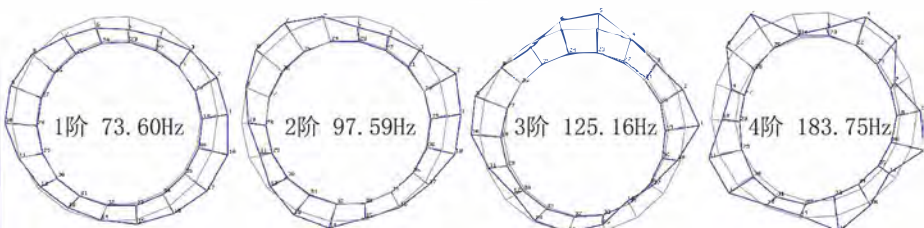


## 测试结果案例

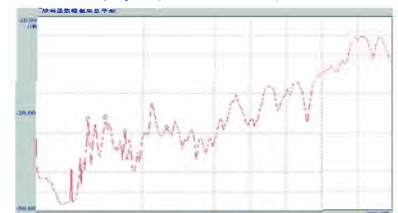
| 功率 MW  | 序号 | 椭圆形   |       | 三角形   |       | 四边形    |        | 五边形    |        |
|--------|----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|        |    | 励测    | 汽测    | 励测    | 汽测    | 励测     | 汽测     | 励测     | 汽测     |
| 60MW   | 1  | 80.54 | 85.57 | 101.3 | 98.69 | 146.4  | 145.0  | 171.3  | 169.8  |
|        | 2  | 82.75 | 76.87 | 101.5 | 97.91 | 123.5  | 150.2  | 182.5  | 177.1  |
|        | 3  | 73.6  | 78.21 | 97.59 | 98.20 | 125.2  | 156.3  | 183.8  | 177.9  |
|        | 4  | 60.87 | 75.45 | 95.44 | 100.0 | 125.2  | 122.5  | 171.6  | 185.1  |
|        | 5  | 71.60 | 73.76 | 94.84 | 97.46 | 157.02 | 159.20 | 166.27 | 178.51 |
| 150MW  | 1  | 62.11 | 70.59 | 89.57 | 94.55 | 116.3  | 156.8  | 153.8  | 178.8  |
|        | 2  | 53.52 | 68.77 | 75.51 | 90.23 | 110.4  | 106.1  | 167.5  | 168.5  |
|        | 3  | 70.00 | 78.60 | 83.97 | 94.07 | 124.51 | 157.15 | 128.75 | 173.76 |
| 200MW  | 1  | 62.45 | 74.27 | 89.76 | 94.70 | 125.0  | 139.9  | 173.73 | 177.50 |
| 210MW  | 1  | 54.77 | 67.5  | 89.32 | 97.5  | 128.7  | 145.0  | 163.7  | 182.7  |
| 350MW  | 1  | 67.25 | 78.75 | 83.6  | 97.38 | 105.0  | 123.8  | 135.7  | 151.3  |
| 600MW  | 1  | 58.5  | 62.8  | 106.3 | 113.8 | 151.4  | 158.8  | 191.5  | 189.3  |
|        | 2  | 60.01 | 65.93 | 108.7 | 119.1 | 149.9  | 170.0  | 182.5  | 201.3  |
|        | 3  | 83.80 | 72.49 | 124.4 | 116.3 | 198.1  | 168.1  | 247.1  | 248.1  |
|        | 4  | 78.89 | 68.68 | 119.9 | 109.2 | 188.8  | 153.5  | 222.5  | 191.4  |
|        | 5  | 81.28 | 67.5  | 121.3 | 109.8 | 183.6  | 161.5  | 225.0  | 217.5  |
|        | 6  | 52.5  | 61.25 | 71.08 | 88.75 | 95.36  | 107.9  | 138.8  | 147.5  |
|        | 7  | 47.24 | 60.67 | 56.19 | 86.83 | 80.0   | 128.8  | 127.5  | 179.1  |
|        | 8  | 57.17 | 60.23 | 83.69 | 83.63 | 129.33 | 128.80 | 154.2  | 167.5  |
| 1030MW | 1  | 58.24 | 66.10 | 75.91 | 88.17 | 101.64 | 121.72 | 118.8  | 166.1  |



60MW 汽测模态振型



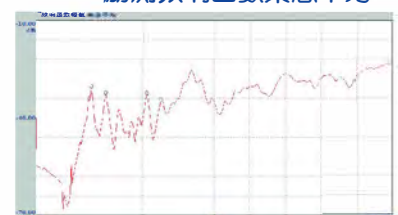
60MW 汽测频响函数集总平均



60MW 励测模态振型



60MW 励测频响函数集总平均

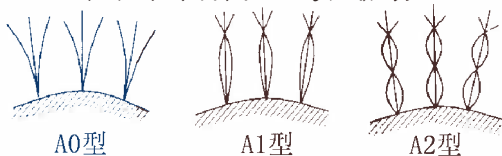


## 专题讨论

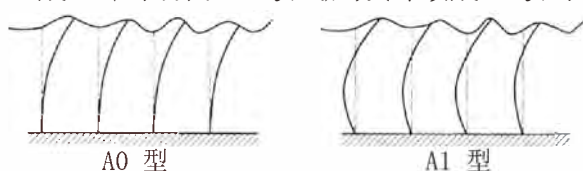
## 叶片及轮系测频方法及评定

### 叶片测频

#### 单个叶片切向A型弯曲振动



#### 成组叶片切向A型弯曲振动(叶顶成组弯曲)



叶片测频的一般要求:

新投运或大修机组测定切向 A0(1阶)频率, 对长叶片、第1次使用及事故或换新叶片除了 A0外根据情况另增测试阶数。根据测试结果对频率分散率进行评价, 一般  $<8\%$  或  $<6\%$ 。单个叶片的共振安全率现在基本已不需评价。叶片测频方法注意事项:

- 单个叶片测频根部固定方法对结果影响很大。叶片制造厂对不同型号叶片必须有专用夹具; 叶根松装在叶轮上的叶片测量困难, 必须将叶片用灌胶或塞尺固定才能测量。
- 目前已普遍采用采用锤击法替代激振器或示波器法用单通道振动响应或双通道共振曲线测定叶片频率。
- 用电涡流传感器非接触式振动测量, 没有加速度附加质量的影响, 但只能测第一阶振型。用加速度计可满足对任意阶数的要求。加速度计安装在叶顶附加质量影响较大, 但对测量全部叶片的分散度没有影响; 放在叶根附加质量影响小, 但信号小及很难得到多阶振型。
- 成组叶片既有切向又有轴向振型, 必须采用特别小的加速度计, 最好用模态试验方法便于判断振型。

### 轮系及整圈叶片模态

(特别感谢徐州电力试验研究所徐基琅所长、吉林电科院赵二力高工对本专题的指导和支持。)

叶片测频目前沿用的标准只有 JB/T 6320-92 汽轮机动叶片测频方法, 该标准对整圈连接叶片及轮系测频只是提及并未有可行说明及评定准则。近期大型汽轮发电机末级和次末级叶片大多采用整圈连接, 单个叶片的切向振动已被约束, 在电厂现场再用 JB/T 6320-92 单个叶片的方法测定两端固定叶片的切向振动已没有意义, 必须考虑整个轮系的轴向振动。这种轮系振动的特点是呈现节径型(可能还包括节圆)模态, 并且频率密集, 相对于高阶切向型单个叶片振型频率低得多。

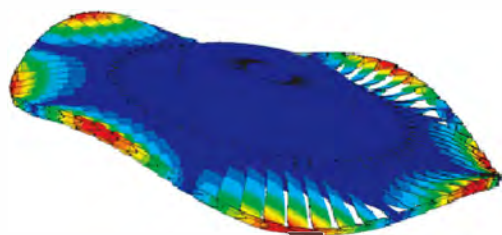
现有设计规范要求共振转速  $n_c$  在 2820~3060 rpm 内不允许存在节径数  $m \leq 8$  的三重点共振。所谓三重点共振是指轮系节径为  $m$  的动频率  $f_{dm}$  与转频  $n$  的整数倍  $K$ (谐波数)重合, 即  $m = K = f_{dm}/n$ 。

整圈连接叶片评定国内沿用的三重点共振法与 GEC-ALSTHOM(TGB/AS/86/02)

和 ABB(ZTGD834387 1999)基本一致, 即采用评价系数  $K_e = f_{dm}/n \cdot m$ , 评价系数  $K_e$  的合格范围为小于 0.94 (-6%) 或大于 1.03 (+3%)。

动频  $f_{dm} = \sqrt{(K_t f_{sm})^2 + B n^2}$ ,  $f_{sm}$  为模态试验得到的节径为  $m$  的静频。 $K_t$  为材料的温度系数, 一般取 0.996。 $B$  为动频系数, 与叶根结构形式等因素有关, 根据计算或试验决定, 一般取 2~3。

共振转速  $n_c$  是在 Campbell 图上动频线与各谐波阶数 ( $K = 2 \sim 8$ ) 激振频率射线的交点, Campbell 图的横坐标是转速, 纵坐标是动频率。



4节径轴向振型

### 整圈连接叶片模态试验注意事项

- 用 MaCras 程序自动生成几何模型。最好对每个叶片都测量, 一个叶片测量 3~4 个点。叶根部分可作为固定约束。如受试验时间限制, 也可每两根或三根叶片测一根。如轴系已埋入缸内无法进行整圈测量也可只测半圈。
- 采用移动加速度计测量点、固定敲击点, 以便保证每次敲击的力度和方向一致。
- 在原点加速度信号大小合适的前提下还必须保证最远处的点的加速度信号不是太小。
- 分析频率范围可取 500Hz。

