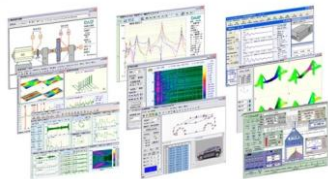


智能监测技术及监测项目案例分享



技术工程师：郭旭东
2018年11月15日

Outline 内容

- 一、机械振动测试系统组成
- 二、信号分析与处理
- 三、机械结构动力学特性分析
- 四、机械结构载荷强度分析
- 五、转子系统动平衡测试

一、机械振动测试系统组成



1.1 传感器的选择

- **传感器的类型**：根据测试的要求，并参照相关的国内或国际标准，选择使用加速度、速度、或者位移传感器或其他类型传感器。
- **频率范围**：传感器要满足测量范围的要求
- **测量范围**：测量范围是指传感器所能测量的最大值、最小值。
- **尺寸、重量**：对小型、轻巧的结构，要考虑传感器质量对测量结果的影响，选用质量小的传感器。
- **测试环境特殊要求**：对于高温、严寒等极端恶劣的工作环境，传感器应满足测量的环境要求。

1.2 传感器安装及防护

传感器常见安装方式：

- **螺栓连接**：如传感器有安装螺孔，可以通过螺栓将传感器与被测物体紧密结合。
- **磁座安装**：如传感器有安装螺孔，在传感器上安装上磁座，可以吸附在钢或者铁制结构上。
- **胶粘**：可以通过502胶水将传感器粘接在被测物体上。
- **橡皮泥（黄油/快干粉）**：对于低频测量时，体积较大的891或941系列传感器可以通过橡皮泥（黄油/快干粉）把传感器和被测结构紧密结合。

1.2 传感器安装及防护

安装后传感器如何防护

- 合适的工作环境，并做出适当的保护。避免由于绝缘、潮湿等原因造成损坏或信号异常。
- 传感器需要在室外好防水、防潮等保护措施。
- 对于加速度传感器，接头通常为M5，要保证拧紧，没有松动，可对M5接头处用胶带固紧

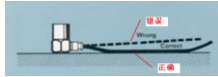


胶带固紧

1.2 传感器安装及防护

coinv
东方所

- 将导线端打结。避免由于长导线作用而使传感器受到拉力。



- 将导线末端固定，防止导线晃动对信号的干扰

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

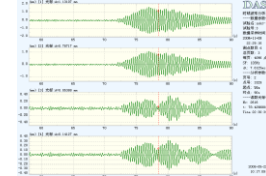
7

1.3 注意事项

coinv
东方所

测试系统连接后，检查信号是否正常

- 仪器连接后，可以让测试人员在传感器周围轻轻敲击或者晃动传感器，看信号是否有变化。



- 如果信号没有变化，则可进行以下检查：
- 检查传感器和导线是否连接好
 - 检查传感器的类型与软件设置是否一致（输入耦合）
 - 可将信号正常的通道和信号异常通道的导线与传感器对调

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

8

1.3 注意事项

coinv
东方所

➤ 工频50Hz信号干扰严重

- 可以从采集仪后端的接地螺母引出一根导线进行良好接地，以消除工频干扰的影响。
- 使用INV1861A动态应变仪时，若应变仪的S端已经通过屏蔽线接地，则采集仪的接地端不用接地，否则会形成回路，只能一点接地，反之亦然。

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

9

二、信号分析与处理

coinv
东方所

- | | | |
|----------|-------------------|----------|
| ➤ 时域分析 | ➤ Hilbert-huang变换 | ➤ 轴心轨迹 |
| ➤ 频域分析 | ➤ 阶次分析 | ➤ 倒熵谱分析 |
| ➤ 倍频程分析 | ➤ 时间三维谱图 | ➤ 小波分析 |
| ➤ 相关分析 | ➤ 转速三维谱图 | ➤ 最大熵分析 |
| ➤ 时变参量分析 | ➤ 伯德图分析 | ➤ 包络谱分析 |
| ➤ | ➤ 非线性分岔图 | ➤ 频率阻尼尼图 |
| | ➤ 全息谱 | ➤ |
| | ➤ | |

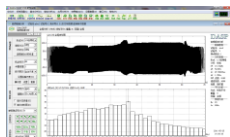
INV 北京东方振动和噪声技术研究所

10

二、信号分析与处理

coinv
东方所

- 时域统计分析
- 频域分析
- 倍频程分析



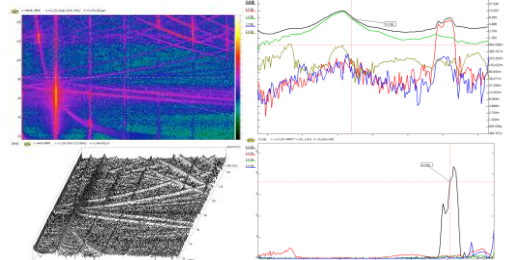
INV 北京东方振动和噪声技术研究所

11

二、信号分析与处理

coinv
东方所

➤ 阶次分析

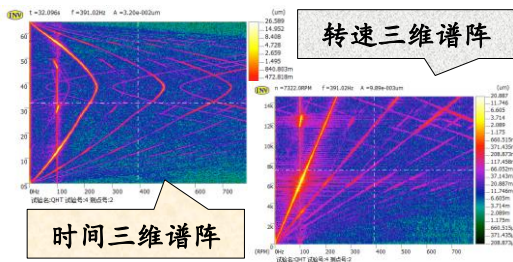


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

12

二、信号分析与处理

coinv
东方所

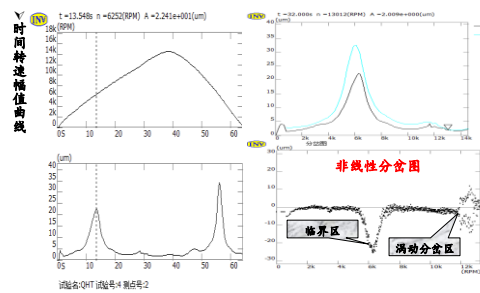


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

13

二、信号分析与处理

coinv
东方所

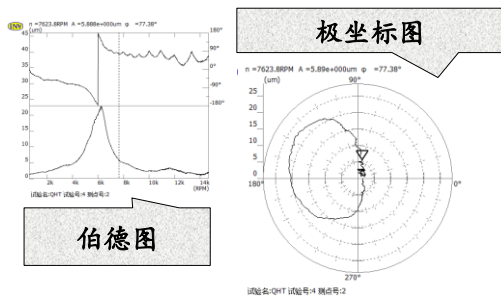


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

14

二、信号分析与处理

coinv
东方所

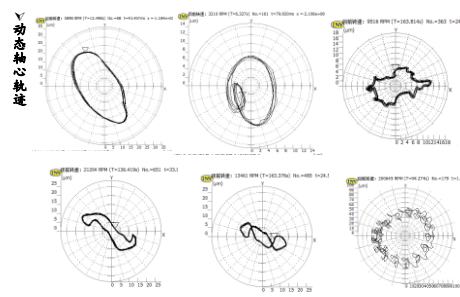


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

15

二、信号分析与处理

coinv
东方所

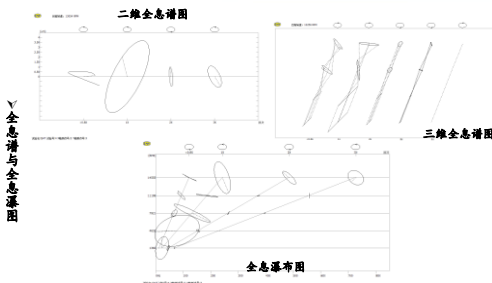


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

16

二、信号分析与处理

coinv
东方所

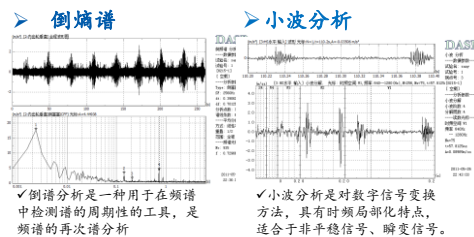


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

17

二、信号分析与处理

coinv
东方所



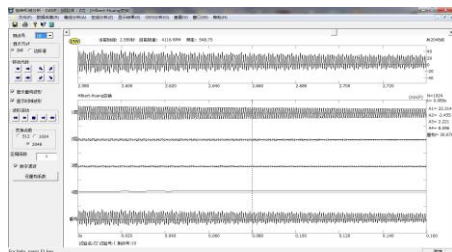
INV 北京东方振动和噪声技术研究所

18

二、信号分析与处理

coinv
东方所

➤ Hilbert-huang变换



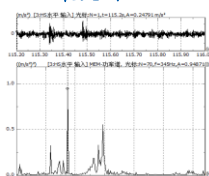
INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

19

二、信号分析与处理

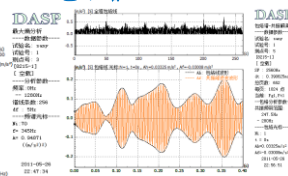
coinv
东方所

➤ 最大熵



✓现代谱分析方法，具有适合分析短时信号特点，可分析点数较少的信号。

➤ 包络谱



✓用于滚动轴承、齿轮等旋转机械元件的故障诊断中，其共振调频是对信号中的共振波形的包络线进行频谱分析

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

20

三、机械结构动力学特性分析

coinv
东方所

- 工程价值
 - ✓评价现有结构的动态特性
 - ✓验证有限元模型
 - ✓结构动力学修改
 - ✓结构设计优化
 - ✓检验产品的质量
 - ✓振动故障诊断和预报
 - ✓监测结构的渐变
 - ✓结构健康监测

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

21

三、机械结构动力学特性分析

coinv
东方所

- 东方所团队对模态技术的研究
 - ✓国内最早专业从事模态测试与分析的单位之一
 - ✓1988年开展了工程实际模态实验（央视报道）
 - ✓模态软件功能齐全
 - ✓模态分析方法全面
 - ✓模态软件用户广泛
 - ✓模态实例丰富
 - ✓在自动化分析技术上目前处于国际和国内同类软件中的领先地位
 - ✓变时基频响函数FRF专利分析方法得到广泛的认可

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

22

三、机械结构动力学特性分析

coinv
东方所

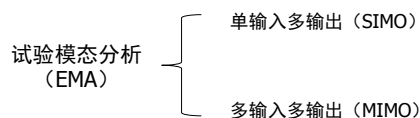
- 机械结构模态测试分类
 - ✓ EMA（包括SIMO、MISO及MIMO）
锤击和激振器激励的模态试验，激励力可测
 - ✓ OMA
环境激励和运行状态的模态试验，激励力不可测
多输入多输出的模态试验，大型结构，对称结构
 - ✓ SMA
应变模态试验，应变和应力问题
 - ✓ ODS
工作变形分析，工作状态的实时变形

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

23

三、机械结构动力学特性分析

coinv
东方所



EMA模态试验的主要参数识别算法

- ERA 特征系统实现算法
- PolyIIR 多参考点无限长滤波模型算法
- PolyMAX 多参考点频域最小二乘复指数法

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

24

工程案例：机床模态试验

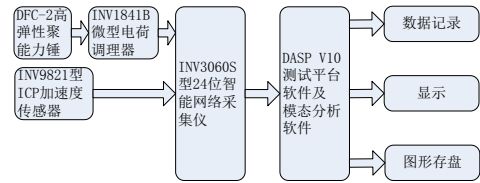
coinv
东方所

- 对象：大型立式机床；
高转速，大功率
要求结构具有优良的动静态特征
- 方法：锤击法
- 目的：评价现有结构系统的动态特性



工程案例：机床模态试验

coinv
东方所



INV 北京东方振动和噪声技术研究所

25

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

26

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所



INV 北京东方振动和噪声技术研究所

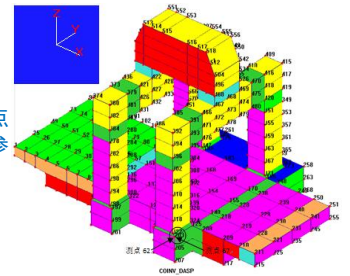
27

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所

建立模型

共选取413个测点
X/Y方向各一个参考点

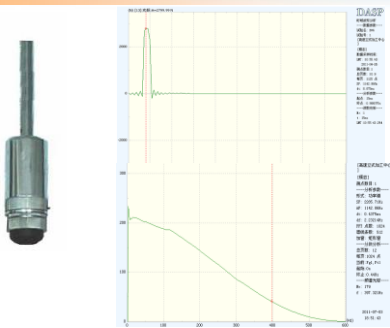


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

28

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所



INV 北京东方振动和噪声技术研究所

29

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所

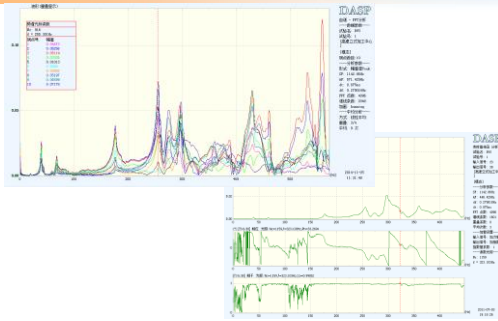


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

30

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所

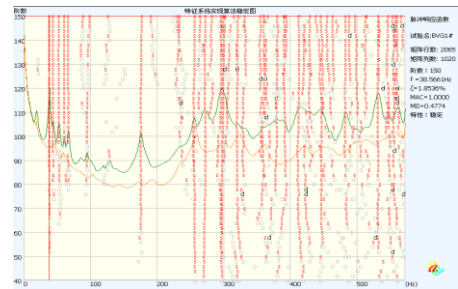


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

31

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所

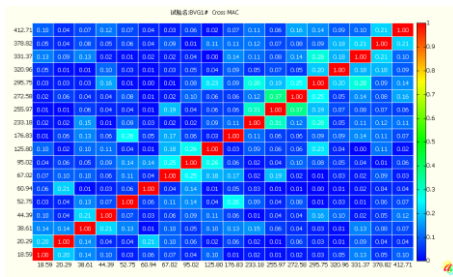


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

32

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所

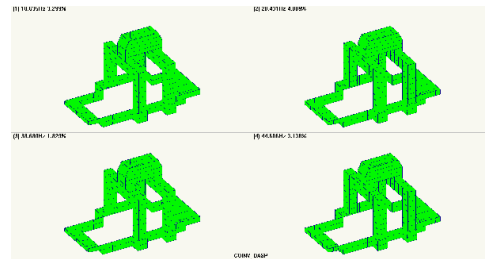


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

33

工程案例：机床模态试验

coinv
东方所

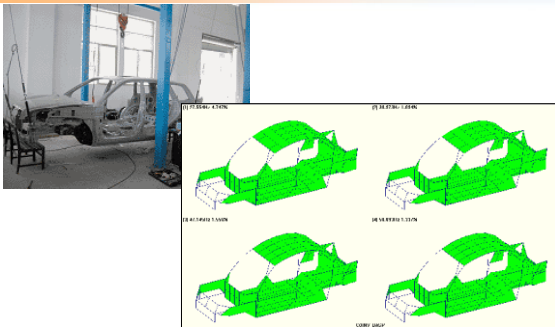


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

34

工程案例：汽车白车身模态试验

coinv
东方所

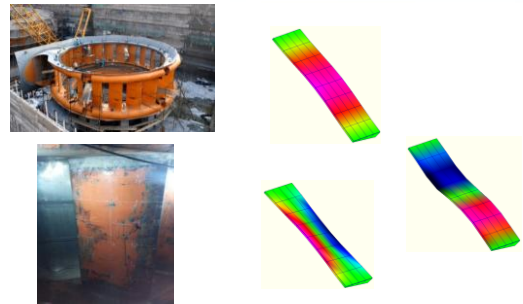


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

35

工程案例：水轮机固定导叶模态试验

coinv
东方所



INV 北京东方振动和噪声技术研究所

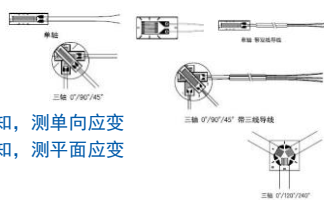
36

四、机械结构的载荷强度分析

coinv
东方所

应变测试分类

- ✓ 静应变：静载
- ✓ 动应变：动载
- 应变计选择
 - ✓ 应变片：主应力已知，测单向应变
 - ✓ 应变花：主应力未知，测平面应变
- 桥路选择
 - ✓ 1/4桥、半桥、全桥
 - ✓ 温漂、长导线电阻影响



四、机械结构的载荷强度分析

coinv
东方所

公称	具体例	电路	备注
二点应变片 (1/4桥)			测单向应力 \$R_1 = R_2 = R_3 = R_4\$ \$R_1\$ 应变片 \$R_2, R_3, R_4\$ 固定电阻 \$P_1\$ 应变片功率 \$P_2, P_3, P_4\$ 固定电阻功率 \$P_1 \sim 100mW\$ \$P_2, P_3, P_4 \sim 1W\$
四点应变片 (半桥)			测单向应力 \$R_1 = R_2 = R_3 = R_4\$ \$R_1, R_2\$ 应变片 \$R_3, R_4\$ 固定电阻 \$P_1, P_2\$ 应变片功率 \$P_3, P_4\$ 固定电阻功率 \$P_1, P_2 \sim 100mW\$ \$P_3, P_4 \sim 1W\$
六点应变片 (全桥)			测单向应力 \$R_1 = R_2 = R_3 = R_4\$ \$R_1, R_2, R_3, R_4\$ 应变片 \$P_1, P_2, P_3, P_4\$ 应变片功率 \$P_1, P_2, P_3, P_4 \sim 100mW\$
二点应变片 (3线制)			测单向应力 \$R_1 = R_2 = R_3 = R_4\$ \$R_1\$ 应变片 \$R_2, R_3, R_4\$ 固定电阻 \$P_1\$ 应变片功率 \$P_2, P_3, P_4\$ 固定电阻功率 \$P_1 \sim 100mW\$ \$P_2, P_3, P_4 \sim 1W\$

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

37

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

东方所PPT样例

38

4.1 扭矩测试

coinv
东方所

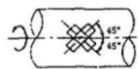
扭力轴扭矩测试

轴上一点处3个应变值:

$$\begin{aligned} \epsilon_x & \quad \epsilon_y & \quad \gamma \\ \epsilon_{-45^\circ} &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos(2 \times 45^\circ) - \frac{\gamma}{2} \sin(2 \times 45^\circ) \\ \epsilon_{45^\circ} &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos(2 \times (-45^\circ)) - \frac{\gamma}{2} \sin(2 \times (-45^\circ)) \end{aligned}$$

整理得:

$$\begin{aligned} \gamma &= \epsilon_{-45^\circ} - \epsilon_{45^\circ} = 2\epsilon_{-45^\circ} \\ \text{在线弹性范围内: } \tau &= G\gamma \quad ; G \text{ 为剪切模量} \\ \text{轴表面上的扭矩 } T &= \tau I_p / r \\ \blacksquare \quad I_p &: \text{极惯性矩} \\ \blacksquare \quad R &: \text{半径} \end{aligned}$$

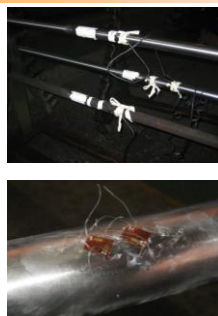


INV 北京东方振动和噪声技术研究所

39

4.1 扭矩测试

coinv
东方所



扭矩测试

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

40

4.2 起重机动态应变测试

coinv
东方所



美国雷电Thunder Crane海洋平台用起重机应变测试——马来西亚



美国卡特彼勒压路机模式、应变测试

INV 北京东方振动和噪声技术研究所

41

4.3 掘进机动态应变测试

coinv
东方所



应变花测点



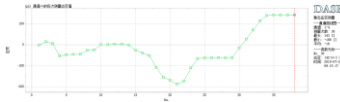
INV 北京东方振动和噪声技术研究所

东方所PPT样例

42

4.4 架桥机静态应变测试

coinv
东方所



INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

东方所PPT样例

43

五、转子系统动平衡测试

coinv
东方所

➤ 不平衡产生原因

- ✓ 转子各微段质心不严格处于回转轴线上引起，冲击、腐蚀、磨损、结焦都会引起转子不平衡。
- ✓ 旋转机械的振动故障有70%来源于转子系统的不平衡。

➤ 动平衡的方法

- ✓ 测出不平衡的位置和大小，或是直接将它去掉，或是在它的对称方向加上和它相应的质量来平衡它的效应，即通过去重或配重完成动平衡。
- ✓ 单面动平衡、多面动平衡

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

44

五、转子系统动平衡测试

coinv
东方所

➤ 东方所动平衡测试技术

- ✓ 在多个转速下或某转速范围内进行平衡
- ✓ 配重面和测试面数量可以不等
- ✓ 不需要完整的影响系数
- ✓ 有多种配重方案可供选择
- ✓ 只有不同条件下的最优解，无唯一解
- ✓ 最多可到5个配重面，16个测量面
- ✓ 转速选取和影响系数输入可手工进行，也可通过极坐标图自动提取，影响系数随时更新
- ✓ 允许配置累加

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

45

五、转子系统动平衡测试

coinv
东方所

➤ 平衡全过程表格、图形、文字报告输出

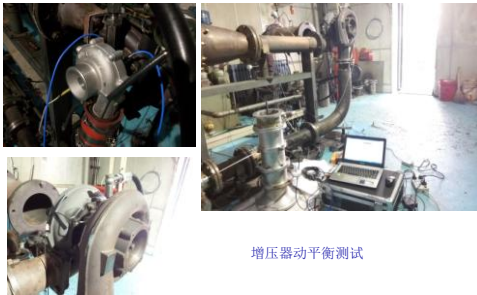
- 图形和表格形式的配置结果显示，通过点击鼠标可改变配置，通过极坐标图和表格显示多个测量面的响应结果
- 多种配置方案的最优计算结果
- 固定位置的配置合成
- 数据采样过程有时域、频域、转速幅值曲线和极坐标图四种显示方式
- 提取影响系数时用频率计技术，保证影响系数有较高的精度

INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

46

五、转子系统动平衡测试

coinv
东方所



增压器动平衡测试

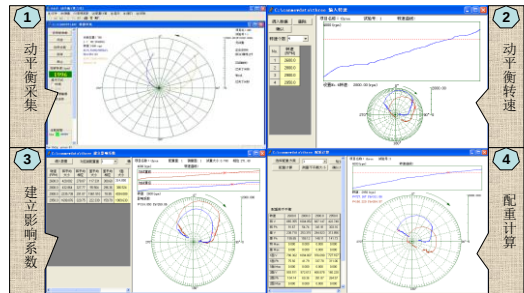
INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

东方所PPT样例

47

五、转子系统动平衡测试

coinv
东方所

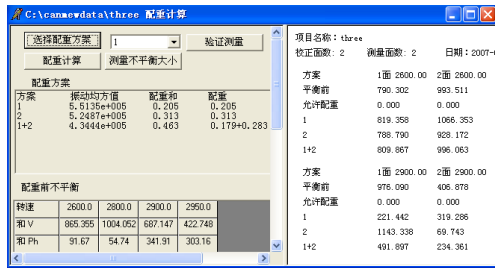


INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

48

五、转子系统动平衡测试

coinv
东方所

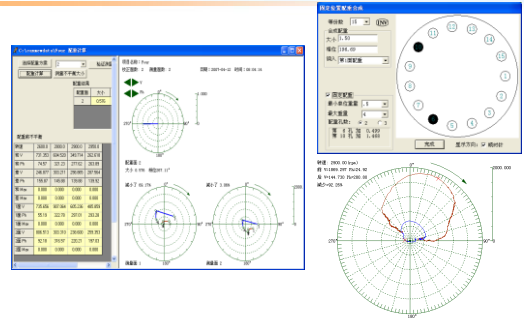


INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

49

五、转子系统动平衡测试

coinv
东方所



INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

50

谢谢大家

北京总部地址:

- 北京市海淀区上地信息产业基地
- 科实大厦C座10C
- 科实大厦516号

联系方式:

- 010-62989889/62988558
- 010-62970728 Fax
- dasp@coinv.com
- www.coinv.com



西南办事处地址:

- 四川省成都市武侯区万寿桥
- 南路339号清河苑17-3-2-4号
- 邮编: 610045

联系方式:

- 028-85030856
- 18628141888
- qiuxh@coinv.com
- www.coinv.com



INVT 北京东方振动和噪声技术研究所

47

51