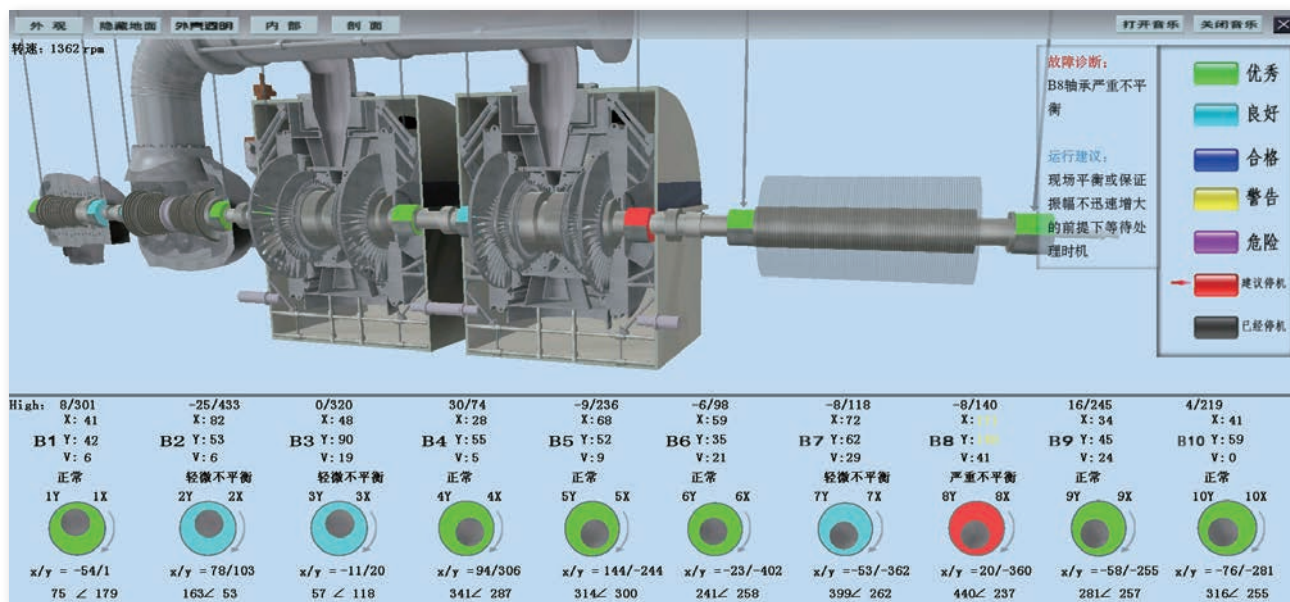


汽轮发电机诊断领域革命性贡献

BCT101

汽轮发电机组轴系可视化智能实时监控系统

世界上第一套可视化汽机监控系统
汽机故障诊断准确率 > 90%
TDM + ES 的升级换代产品
杜绝汽轮机恶性事故发生



必可测科技

BCT101 系统

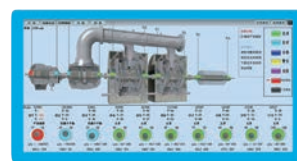
独创可视化监测显示功能

座 落于中关村高科技园区的必可测科技股份有限公司，是在新三板上市的高新技术企业，国内领先的工业企业设备管理维护完整解决方案供应商。公司一直专注于设备管理理念与诊断技术的创新，经过 20 多年的经验积累和技术创新，终于修出正果——向中国电力行业隆重推出 BCT101 型汽轮发电机组轴系可视化智能实时监控系统。

BCT101 系统为世界首创，已经获得多项发明专利（一种旋转机械的轴系状态监测方法 [专利号 ZL201110064817.1]、一种离散采样振动监测仪表存储数据的方法和汽轮发电机组振动故障的监测方法及装置等）和多项软件著作权，是必可测公司拥有完全自主知识产权的产品。系统的研发人员对专业性很强的振动领域需求和目前振动产品存在的问题有深刻的了解。BCT101 系统的应用相当于有深厚的专业知识和丰富现场经验的专家，24 小时连续不断地对各种监测数据进行分析，帮助用户及时准确地确定机组的状态。

BCT101 系统通过对汽轮发电机组轴系各种动静间隙的实时计算，在计算机屏幕上，以透视的眼光观看汽缸内高速转动的各转子的运行状态；高精度显示各转子的动态间隙变化，包括各轴颈处的油膜厚度，盘车状态下的大轴顶起高度，各轴封间隙，各隔板汽封间隙等，根据间隙变化和机组的振动水平确定密封和机组的状态，并以不同的颜色显示。从监测画面上可以直观地判断机组常见的不平衡、不对中、油膜涡动、汽流激振、部件脱落、松动和碰摩等故障，具有形象生动，易于理解和准确可靠的特点。

BCT101 系统总结了不同厂家 50MW ~ 1000MW 汽轮发电机组的传感器、转子、叶轮、隔板、密封和轴承以及其它本体结构参数，可以方便地形成可视化监测画面，并可以根据需要修改有关参数进行调整。



BCT 系统上位机
(服务器)



BCT 系统下位机
(数据采集箱)

三大独创功能 彻底解决用户关心的三大问题

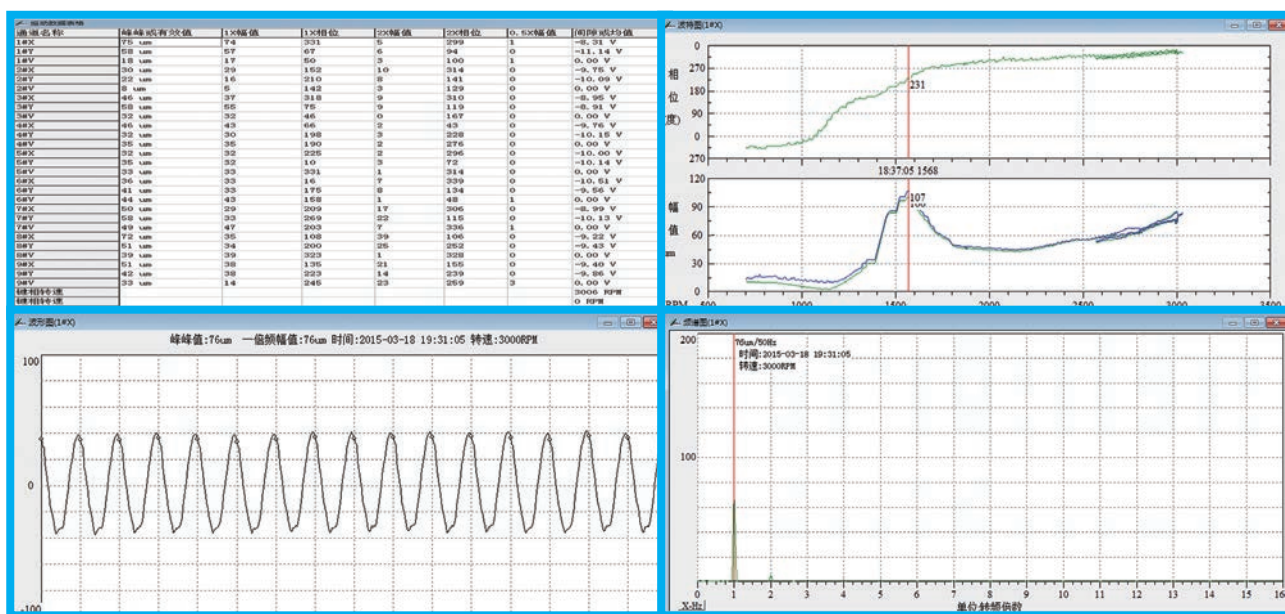
机组当前有没有问题？

有问题？是什么性质的问题

如何快速有效处理？

主要功能：

专业振动谱图（传统 TDM）

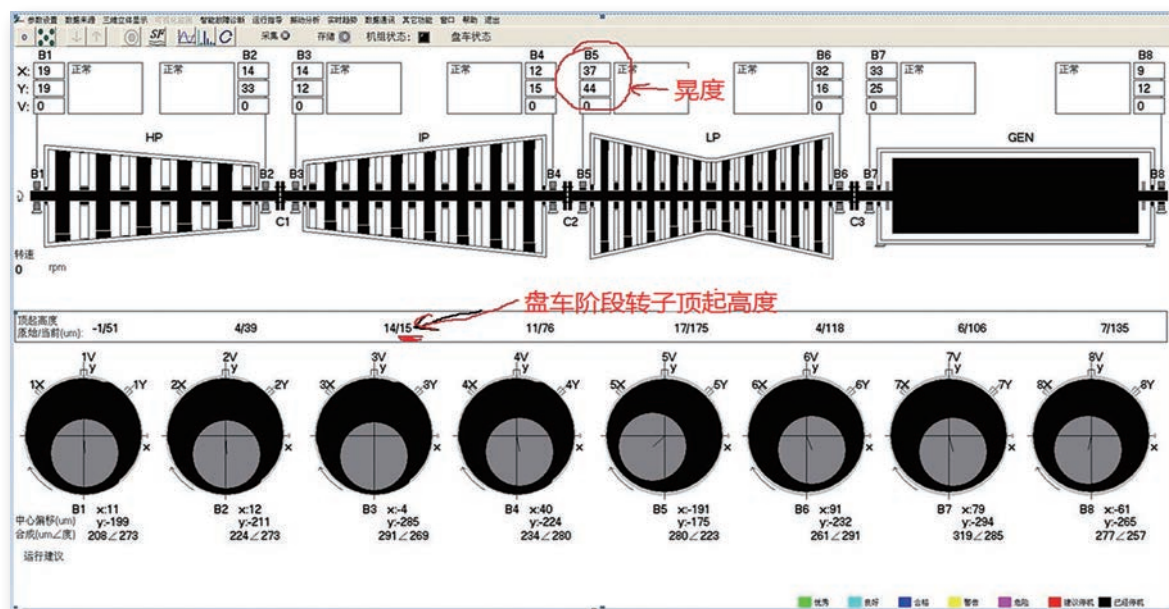


振动物理量 $\xrightarrow{\text{传感器}}$ 模拟量 $\xrightarrow{\text{下位机}}$ 数字量 $\xrightarrow{\text{信号分析}}$ 专业振动谱图

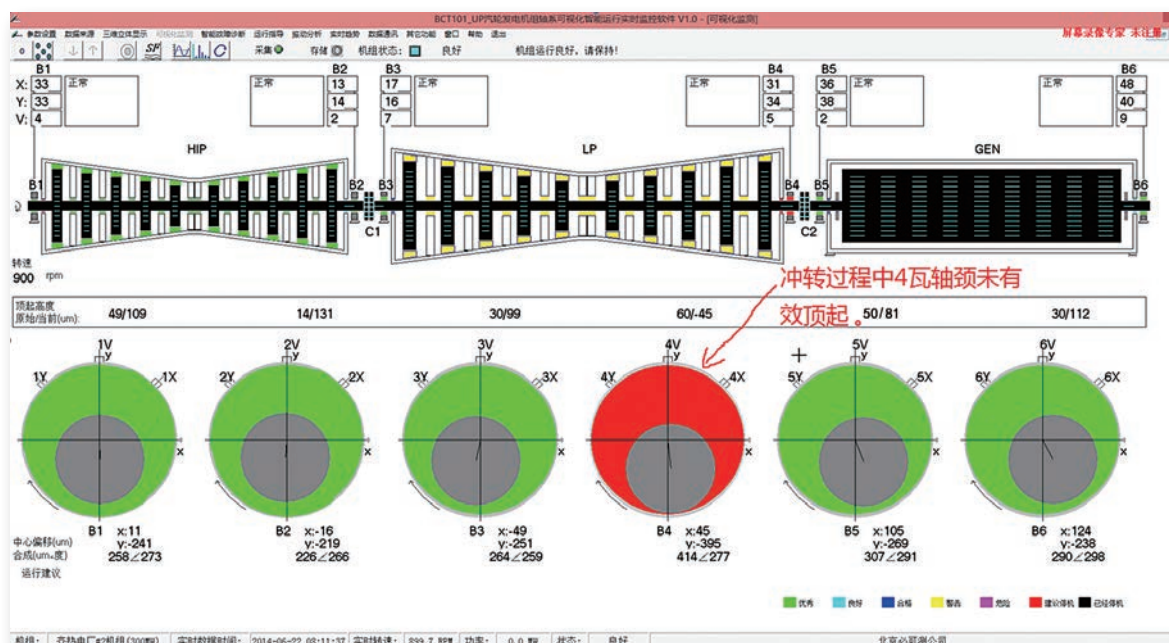
轴系可视化 (独创)

通过对汽轮发电机组轴系各种动静间隙的实时计算，可视化显示轴承和轴系各间隙的变化，结合机组的振动水平，根据最小间隙与相应位置设计间隙的比值自动识别轴系的状态，并以不同的颜色实时显示。

第一代二维显示界面



第一代二维显示界面



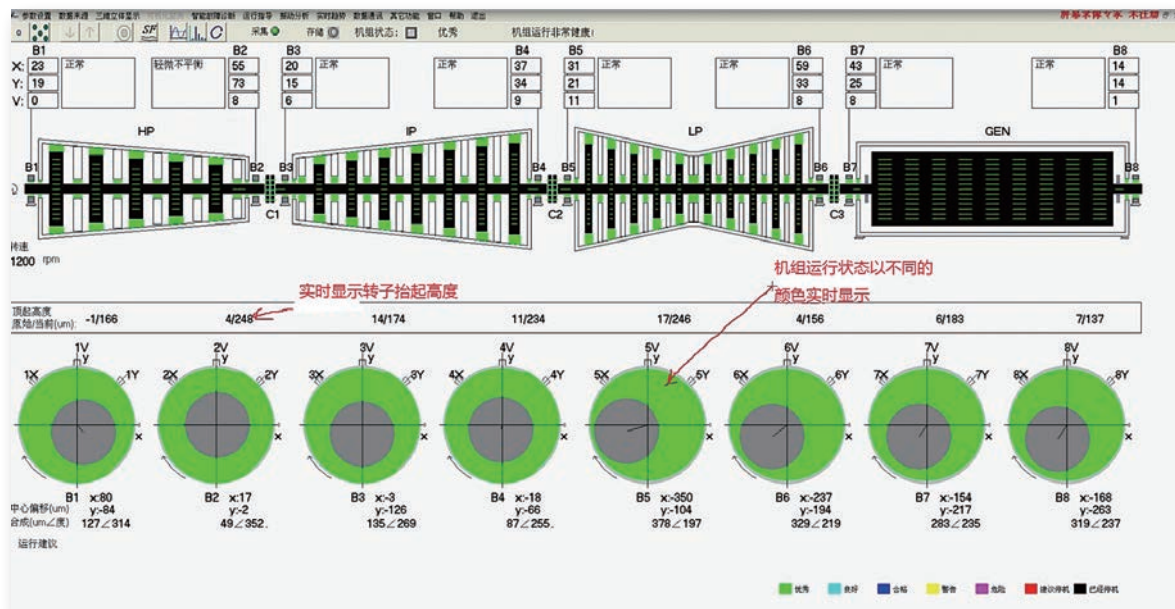
BCT101 系统独创性的轴系可视化功能，对电厂运行人员来说有两大关键作用：

1) 在机组启动前进行一些十分关键又容易忽视的条件确认。如转子顶起高度、轴系晃动度是否满足机组安全启动条件，BCT101 可视化画面都给出了具体数值，通过数据定性直观分析，可以提前发现机组存在的一些潜在危险源，避免事故的发生和扩大化。

BCT101 轴系可视化监控系统很好的弥补了顶轴系统的实时监测，如出现顶起高度不够，运行人员通过 BCT101 可视化画面当前顶起高度数值就可以轻松判定，针对盘车阶段转子顶起高度不够情况，首先要确认顶轴油系统设备无缺陷，在此基础上可通过调整顶轴油泵出力和相应轴瓦顶轴油压，将相应瓦轴颈抬起到技术规范值；在启停机过程中特别是低速运行阶段若发现某瓦轴颈顶起高度不理想，则可启动两台顶轴油泵尽可能控制故障的发生。

2) 对于机组整体的运行状况，BCT101 系统也给出了综合判断，划分为优秀、良好、合格各等级，通过不同的颜色进行显示。运行人员只需要观察可视化画面颜色变化，即可以在第一时间发现机组运行状态变化，并且可以直接获取机组故障的结论和运行指导建议，大大降低了电厂人员掌握汽轮发电机组振动分析处理的难度。对一些隐蔽性较强（故障发生但是振动幅值变化不明显）的故障，BCT101 系统可视化功能具有独一无二的优势。

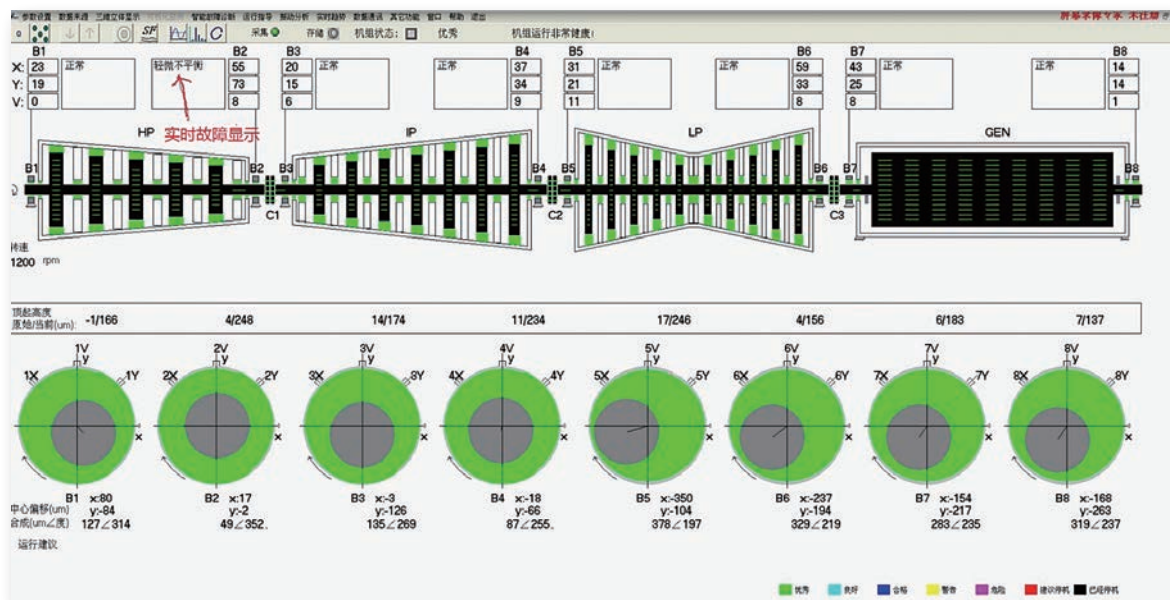
第一代二维显示界面



故障自动诊断和显示 (独创)

经过对三十多年来国内 200MW、300MW、600MW 和 1000MW 等主要类型机组上曾发生过的各类振动故障进行汇总,积累了丰富的诊断技术。在诊断模式上, BCT101 专家系统采用了正向推理,对振动故障进行了科学分类,克服了反向推理存在的误诊和漏诊问题,故障诊断的准确率提高到 90% 以上,并提出切实可行的消振措施。

第一代二维显示界面



运行指导和故障处理建议 (独创)

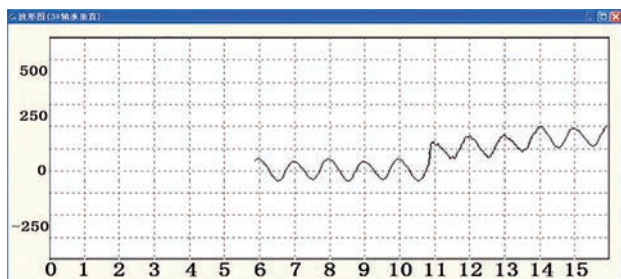
根据振动、转速、负荷和温度等之间的内在联系,自动给予机组启动、停止及继续运行的建议。盘车时,自动计算轴的挠度、高点位置 and 变化趋势,为选择盘车方法,确定是否需要继续盘车提供依据。BCT101 系统能够区分各种类型的故障,根据发生的原因不同,给出最有实用价值的差别化的处理建议。

滑动轴承设计优化建议

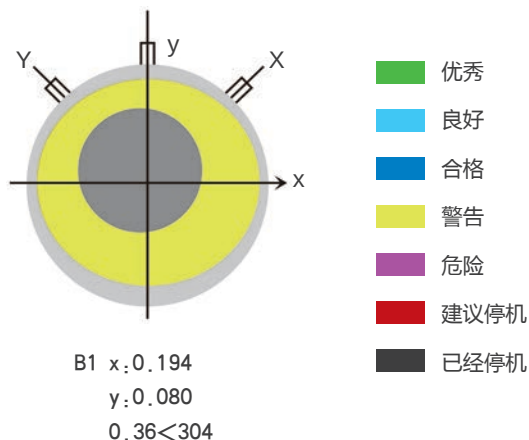
根据可视化监测及对国内外滑动轴承 30 年设计经验积累,对机组滑动轴承进行优化设计及运维建议。

☀ 汽轮机可视化调门阀序优化

检测点转子变化显示



根据转子在轴承中的位置和振动，及其剩余的动静间隙，来确定机组的状态，准确可靠，真正做到了有效地指导运行。



机组在试运行、启动过程中，一般采取全周进汽的单阀运行方式，使得汽缸受热均匀，在变负荷运行时温差影响较小，有利于机组膨胀。但是，单阀运行比顺序阀运行时，机组热效率约降低 3%。机组运行过程中，因阀序设置不合理，不仅影响机组的安全和效率。同时，因进汽角度的不同，引起汽流激振，造成汽轮机组振动增加故障。因此需要在单阀控制方式和顺序阀控制方式之间进行优化切换。可视化汽轮机轴系监控系统 BCT101，通过几十年汽轮机振动数据的分析研究经验，总结出汽轮机轴系振动和汽机调门阀序间的内在关系。为汽轮机调节阀阀序调整优化，提供可视化科学依据。

可选功能：

☀ 防止汽轮机超速

通过监测汽机转速及对高频扭振信号的分析，及时准确预警运维人员采取可靠措施，避免汽轮机超速事故的发生。

☀ 可以防止汽轮机断轴

通过扭振监测模块，及时发现次同步故障及故障的先兆，并提前预警，准确指导运维人员正确及时调整运行参数，避免恶性断轴事故的发生。

☀ 防止汽轮机大轴永久弯曲

通过监测波特图及相位，以透视的眼光监测动静碰磨状态，精确指导启停机的操作过程，结合紧急状态下的“闷缸技术”，避免大轴永久弯曲的恶性事故。

☀ 杜绝汽轮机烧瓦

通过可视化监测油膜厚度及转子顶起高度，精确调整各轴瓦的载荷分布及偏心率，避免油膜形成不良或断油而导致的烧瓦事故。

BCT101 系统特点

- 可视化显示轴系状态，自动识别故障
- 机组状态的综合分析；现场运行及故障检修的有效指导
- TSI+TDM+ES，监测、分析和诊断功能齐全
- 模块化设计，电源双冗余，高度的可靠性和可扩展性
- 参数软件设置，省却硬件跳线烦恼
- 可支持常用的振动传感器
- 强大的网络化功能（RS485，以太网）
- 极高的性价比

振动 ——
轴振、瓦振

转速 / 键相

BCT101
监测范围

位移量 ——
偏心、胀差、轴位移、热膨胀

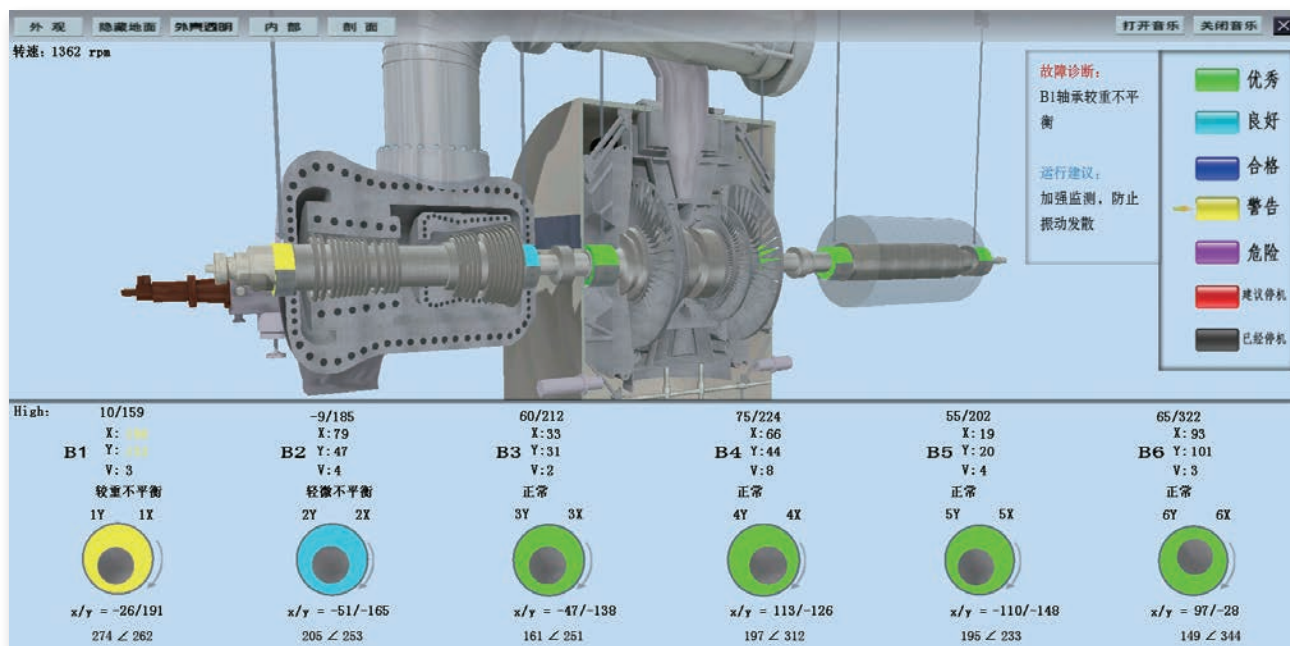
过程量 ——
温度、压力、负荷和开度等

BCT101 系统模块分类	主机模块主要功能
框架	可视化监测显示
主机模块	振动分析
电源模块	故障诊断
2 通道键相模块	盘车计算
4 通道振动位移模块	动平衡计算
20 通道缓变量模块	参数设置
6 通道继电器模块	数据通讯

主要技术指标	
工业一体化机箱	4U19", 482.6×176x305 (mm , W×H×D)
可用插槽(模块)	12 个
输入信号	位移、速度传感器信号, 4-20mA 过程量信号
通道数 / 模块	2 通道键相, 4 通道振动, 20 通道缓变量, 6 通道继电器
采样频率	低速 (<100rpm) :1×512 点, 其它 16×32=512
采样方式	整周期采样
测量范围	转速 0-5000r/min ;振动 0-1000μm ;位移 ±20mm
测试误差	转速 ≤1r/min , 振动 ≤1μm , 位移 <0.01mm
频率分析范围	1/16X-16X
最高 A/D 采集速度	>100KHz

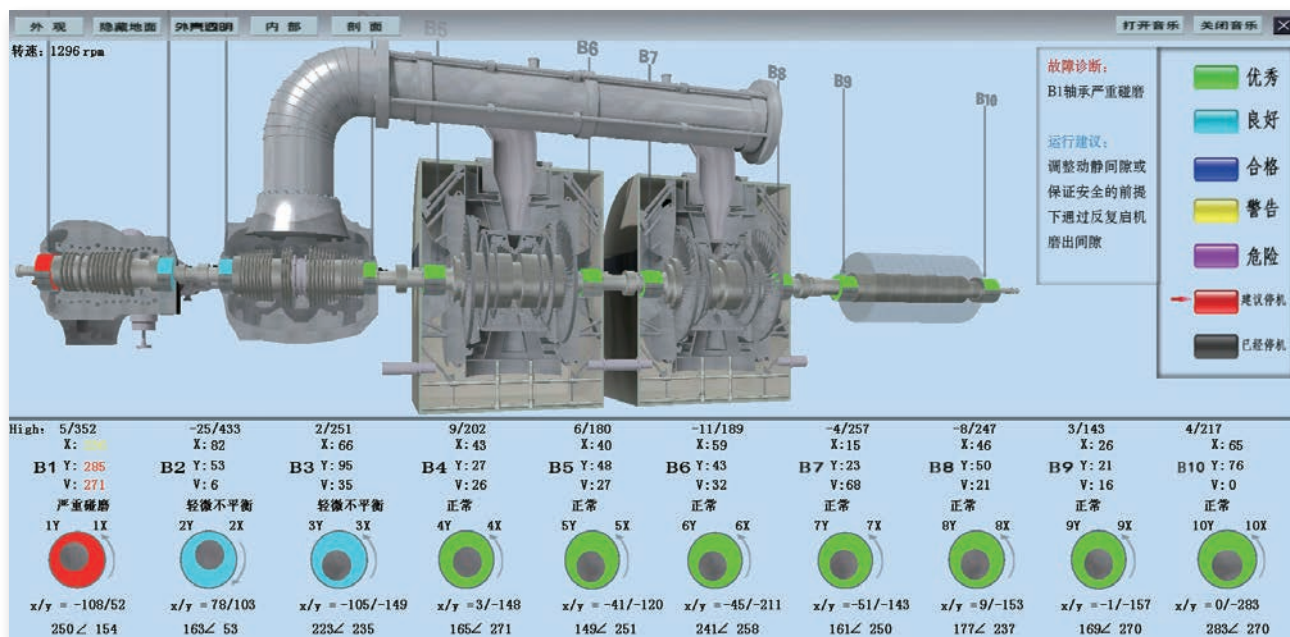
三维立体监测

第二代三维显示界面



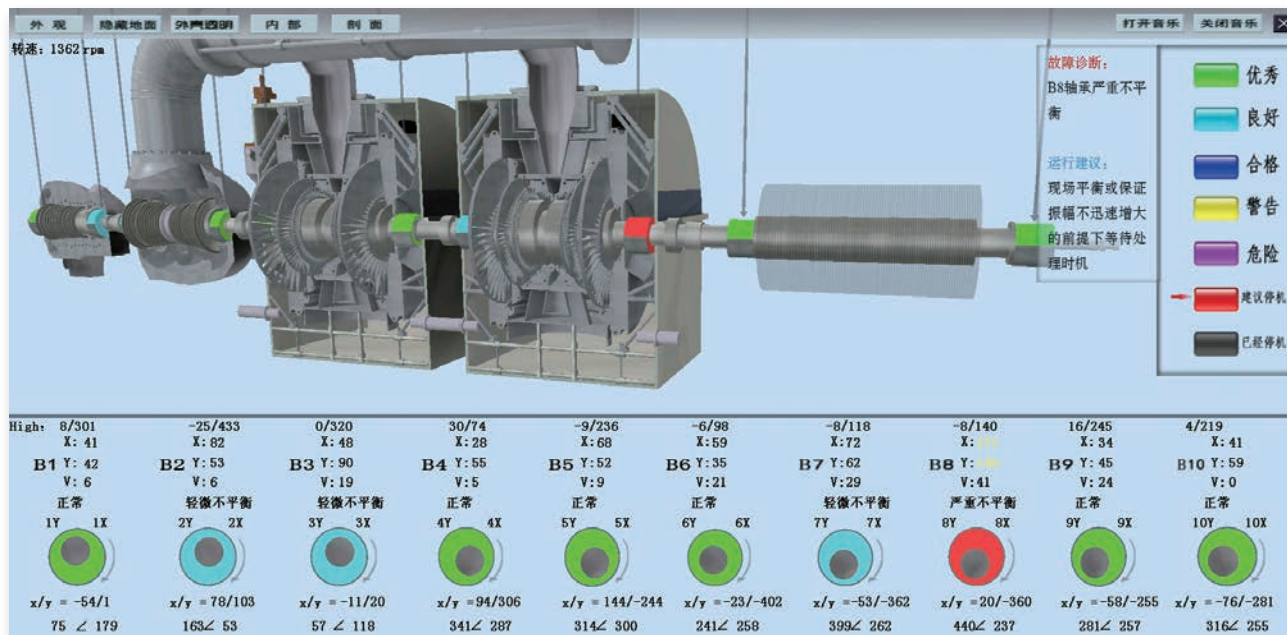
较重不平衡及处理建议

第二代三维显示界面



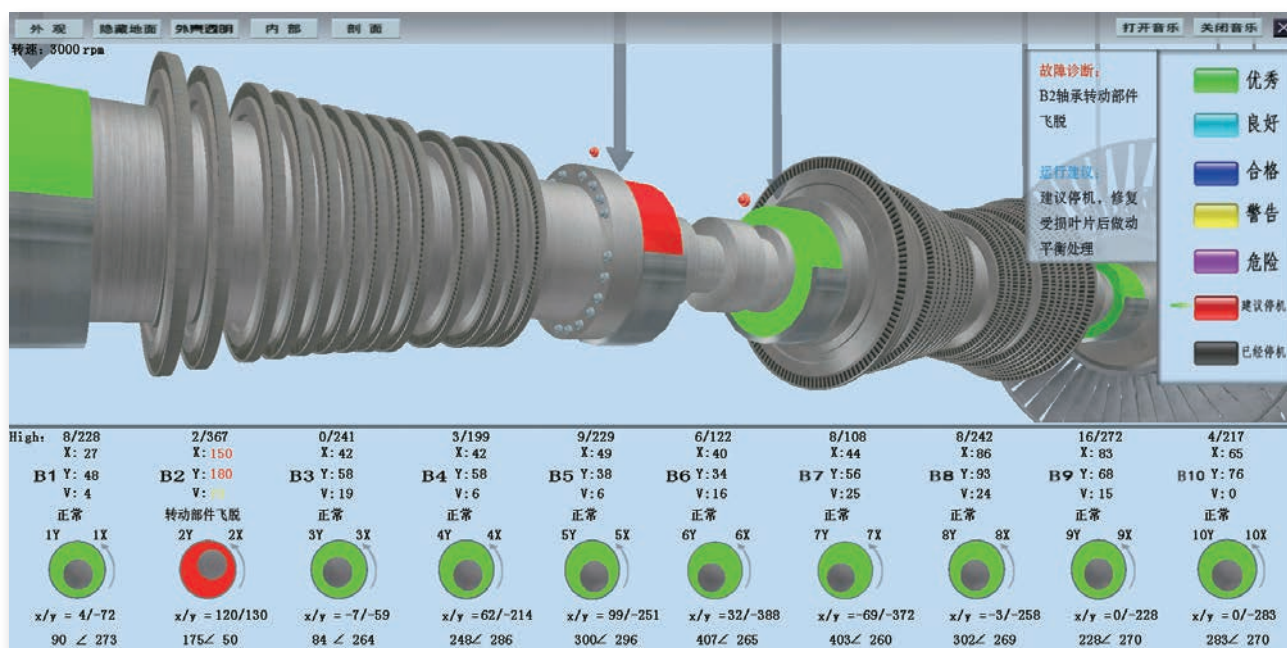
严重碰磨及处理建议

第二代三维显示界面



严重不平衡及处理建议

第二代三维显示界面



转动部件飞脱及处理建议

上位机分析诊断系统



上位机主界面

除了数据采集和从下位机读取外, BCT101 还具有数据存储和更加灵活全面的 TDM+ES 功能:



数据存储

根据设置的条件能够自动存储数据, 形成历史数据库(时、天、月、年数据库)变转速、变负荷数据库和事件数据库等, 数据库可以备份。

开停机过程数据存储	等时间间隔数据存储
数据存储转速间隔: 20 RPM	小时数据库存储时间间隔: 2 秒
暖机过程存储时间间隔: 180 秒	天数据库存储时间间隔: 15 秒
额定转速: 3000 RPM	周数据库存储时间间隔: 60 秒
存储数据的最小转速: 50 RPM	月数据库存储时间间隔: 12 分
变负荷过程数据存储	年数据库存储时间间隔: 120 分
数据存储负荷间隔: 0.5 MW	

上位机参数设置

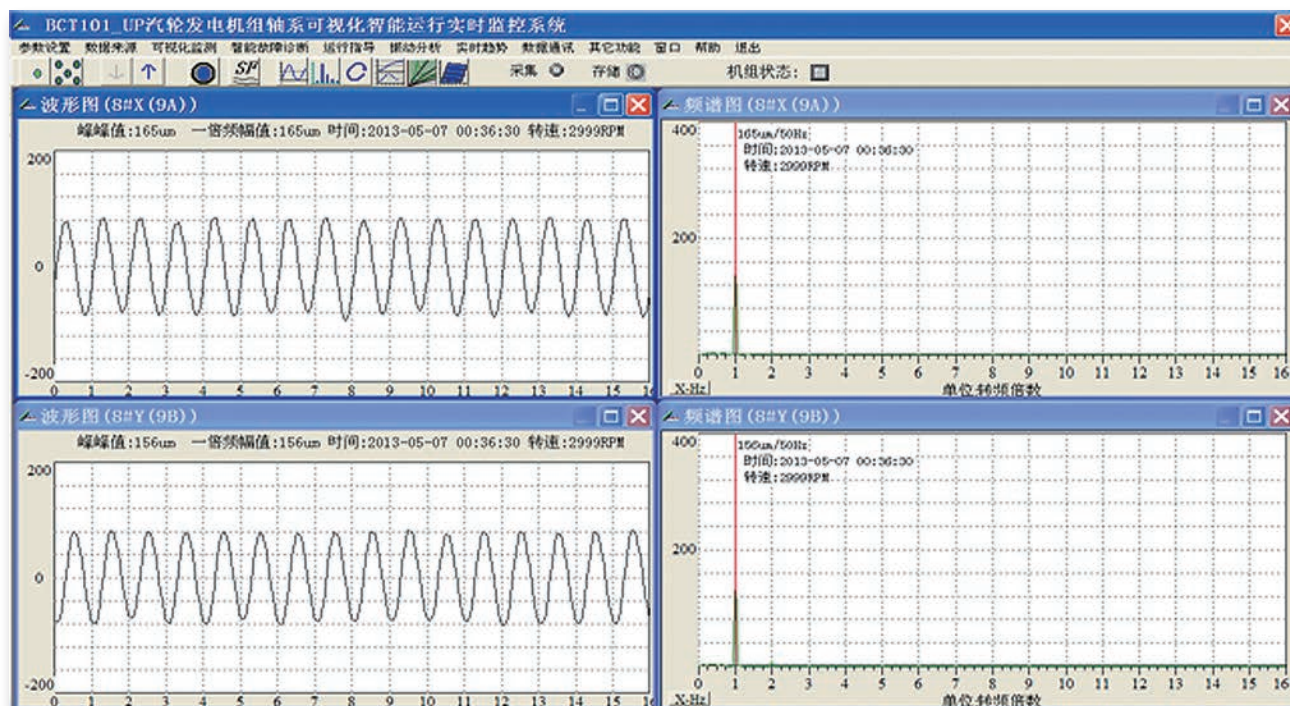


轴承参数设置							
轴承参数设置 单个轴承参数设置							
轴承序号	轴承所在汽缸名称	轴承位置	轴承类型	轴承长度	轴承油膜间隙上	轴承油膜间隙下	轴承油膜间隙
1号轴承	HIP	独立轴承	椭圆轴承	800	0.27	0.32	0.28
2号轴承	HIP	前轴承	椭圆轴承	800	0.31	0.43	0.46
3号轴承	LP1	后轴承	三油楔轴承	800	0.41	0.53	0.36
4号轴承	LP1	独立轴承	三油楔轴承	800	0.41	0.53	0.36
5号轴承	LP2	后轴承	三油楔轴承	800	0.44	0.52	0.46
6号轴承	LP2	独立轴承	三油楔轴承	800	0.44	0.52	0.46
7号轴承	GEN	独立轴承	椭圆轴承	800	0.53	0.58	0.62
8号轴承	GEN	独立轴承	椭圆轴承	800	0.53	0.58	0.62
9号轴承	EXC	独立轴承	椭圆轴承	800	0.53	0.58	0.62
10号轴承		独立轴承	圆柱	0	0.00	0.00	0.00
11号轴承		独立轴承	圆柱	0	0.00	0.00	0.00
12号轴承		独立轴承	圆柱	0	0.00	0.00	0.00

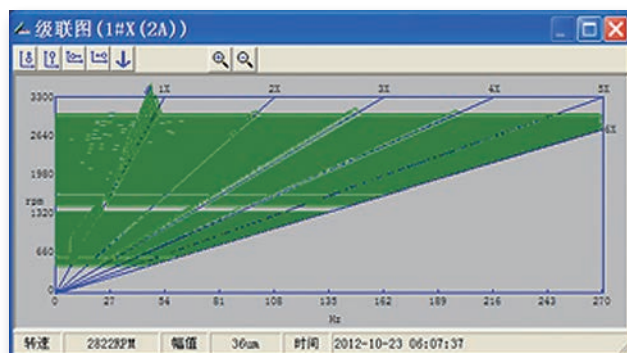
振动分析

齐全的信号分析功能

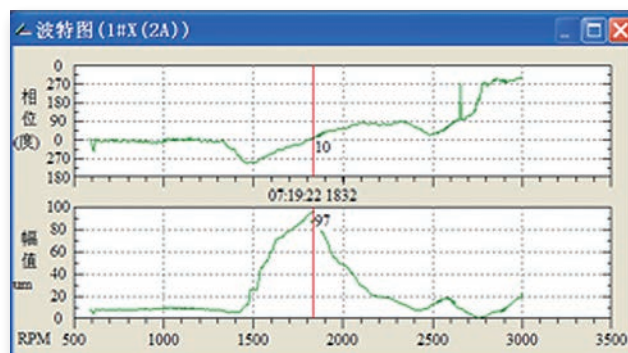
- 时域分析 (波形、轴心轨迹、轴心位置、趋势分析、轴系仿真)
- 频域分析 (频谱、相位、细化谱、倒频谱、瀑布图、滤波分析)
- 变速分析 (波特图、极坐标图、级联图)
- 时频分析 (小波变换)
- 趋势分析和相关趋势分析等。



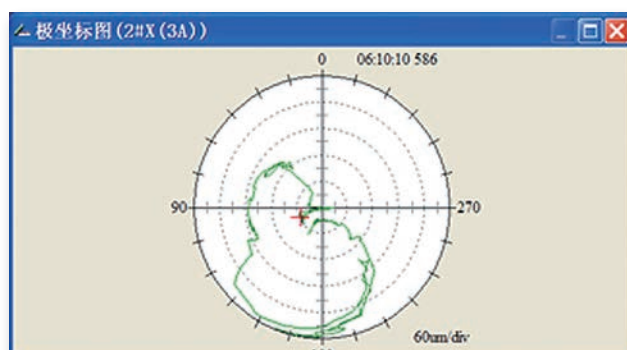
波形和频谱图



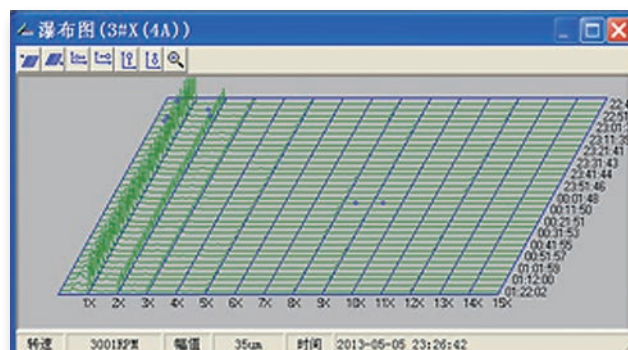
级联图



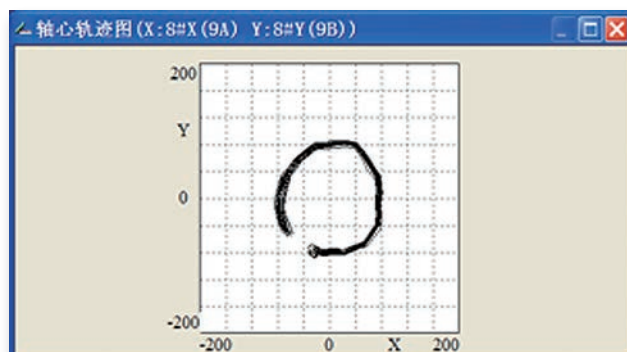
波特图



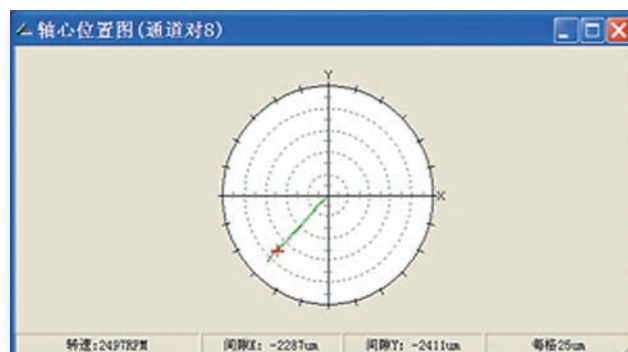
极坐标图



瀑布图



轴心轨迹图



轴心位置图



一倍频相位实时趋势



振动峰峰值实时趋势



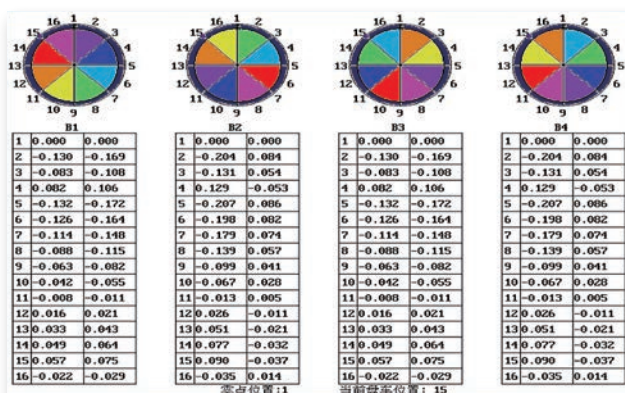
间隙电压实时趋势

通道名称	1X幅值	1X相位	2X幅值	2X
1#X(2A)	14	332	8	29
1#Y(2B)	41	98	10	10
1#V(2C)	8	270	1	90
(2D)	0	0	0	0
2#X(3A)	74	135	4	54
2#Y(3B)	106	179	6	10
2#V(3C)	3	67	0	90
(3D)	0	0	0	0
3#X(4A)	52	331	13	12
3#Y(4B)	85	349	13	30
3#V(4C)	12	326	0	90
(4D)	-	-	-	-

振动数据列表

通道名称	1X幅值	1X相位	2X幅值	2X
1#X(2A)	14	332	8	29
1#Y(2B)	41	98	10	10
1#V(2C)	8	270	1	90
(2D)	0	0	0	0
2#X(3A)	74	135	4	54
2#Y(3B)	106	179	6	10
2#V(3C)	3	67	0	90
(3D)	0	0	0	0
3#X(4A)	52	331	13	12
3#Y(4B)	85	349	13	30
3#V(4C)	12	326	0	90
(4D)	-	-	-	-

动平衡计算



盘车计算

下位机参数设置

[板卡设置]

第 1 插槽:	振动板
第 2 插槽:	振动板
第 3 插槽:	振动板
第 4 插槽:	振动板
第 5 插槽:	振动板
第 6 插槽:	振动板
第 7 插槽:	振动板
第 8 插槽:	振动板
第 9 插槽:	过程量板
第 10 插槽:	未用
第 11 插槽:	未用
第 12 插槽:	未用

↵ 选择 ↑↓ 更改 ← 确认 Esc 返回

[振动通道参数]

通道号: 1A 单位: μm

信号类型: 0 位移传感器(振动)

曲线拟合: 无

灵敏度: 7.874 mV/ μm

显示上限: 500 下限: 0.00

警告上限: 150 下限: 0.00

危险上限: 260 下限: 0.00

是否积分: 否

↵ 选择 ↑↓ 修改 ← 确认 Esc 返回

[采样方式设置]

选择采样方式: 4: 16*32=512点

↵ 选择 ↑↓ 更改 ← 确认 Esc 返回

修改网络名称

网络名称: BCT10101

↵ 选择 ↑↓ 修改 ← 确认 Esc 返回

警告 ● 危险 ● 通讯 ●				2011-10-27 16:35:16			
1A μm	40 -14.03v	1B μm	41 -14.14v	1C μm	41 -14.10v	1D μm	40 -14.02v
2A μm	40 -14.03v	2B μm	42 -14.17v	2C μm	40 -14.40v	2D μm	39 -14.54v
3A μm	42 -14.55v	3B μm	40 -14.46v	3C μm	40 -14.43v	3D μm	43 -14.54v
4A μm	40 -14.76v	4B μm	41 -14.94v	4C μm	43 -14.99v	4D μm	40 -14.90v
5A μm	115 -12.65v	5B μm	123 -12.62v	5C μm	120 -12.98v	5D μm	115 -13.41v
6A μm	122 -13.50v	6B μm	121 -13.20v	6C μm	114 -12.76v	6D μm	122 -12.63v
7A μm	122 -12.89v	7B μm	115 -13.35v	7C μm	95	7D μm	97
8A μm	115 -12.91v	8B μm	119 -12.67v				



汽轮发电机组故障在线诊断系统是针对目前国内现役机组中最多的 200MW、300MW、350MW、600MW、660MW、700MW 和 1000MW 等型式机组，总结三十多年来在这些机组上曾发生过的各类振动故障而特别所作的设计，具有较强的针对性。

根据著名振动专家 30 多年的现场实践经验，对在这些机组上曾发生过的各类振动进行科学分类，覆盖了这些类型机组已发生过的全部振动故障，可以避免漏诊断。

采用正向推理诊断故障，在能够引起机组振动的全部原因中，根据实际机组存在的振动特征和故障历史，进行搜索、比较和分析，采取逐个排除的方法，剩下不能排除的故障即为诊断结果。可以克服反向推理不可避免的误诊和漏诊问题使故障诊断正确率大大提高。

根据机组运行的不同阶段分为若干独立的诊断单元，对故障作出明确和肯定的诊断，并给出了切合实际的纠正性运行操作和消振建议。

某裂纹转子振动诊断简述

机组振动概况

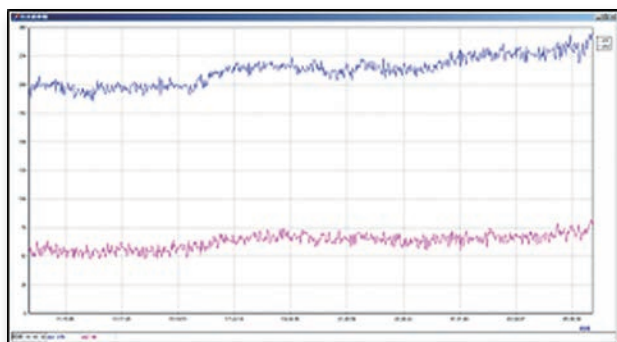
某电厂 2 号机是上汽 600MW 机组, 2007 年 8 月投产时轴振良好, 2009 年 4 月第一次大修, 修后轴系振动基本保持了修前水平。

该机从 2011 年 7 月 16 日开始, #3、#4 瓦轴振出现缓慢爬升, 至 7 月 26 日, X 向轴振由原来的 18 μ m、54 μ m 爬升至 64 μ m、66 μ m, 随后爬升速度加快, 至 8 月 5 日, 560MW 时, 已增大到 202 μ m、128 μ m, 通过检查 #3、#4 瓦侧端部汽封, 发现有磨痕, 将轴封间隙增大 0.20-0.40mm, 再次启动, 振动没有减小, 通过转子加重, 将 3000rpm 下轴振降至 142 μ m、92 μ m, 并网运行三天后, #3 瓦 X 向轴振增大至 255 μ m, 打闸停机。

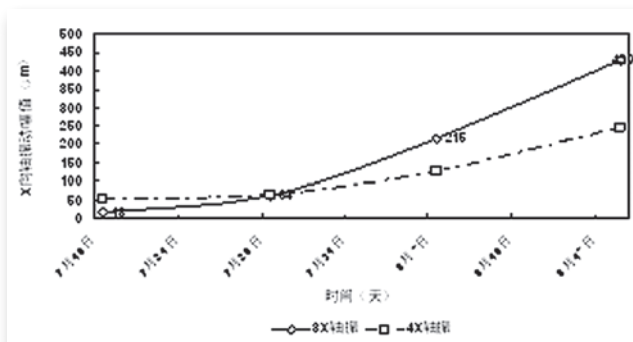
振动变化趋势

由于该机 #3、#4 瓦振动恶化开始较慢, 而后较快, 但在十小时之内, 振幅和相位较为稳定, 在同样负荷下, 2-3 天内即可发现振动在缓慢爬升, 如图是在 500-560MW 负荷下, #3、#4 瓦轴振变化趋势曲线, 由图可见, 在 22h 之内已明显可以看出振动在连续爬升, 特别是 3X。

从该机 #3、#4 瓦轴振增大以来, 其变化趋势如图所示, 在头十天内, 曲线斜率较小, 自 7 月 22 日以后, 振动爬升较快, 到 8 月 16 日, #3、#4 瓦轴振已增大到 429 μ m、220 μ m。



带负荷下 #3、#4 瓦 X 向轴振 22h 变化趋势



带负荷下, #3、#4 瓦 X 向轴振一个月内发展趋势

振动故障诊断

依据该机振动主要特征,对振动故障原因可作如下诊断——

1. 振幅增大 95% 分量是一倍频

振动增大分量主要是 1X,这种振动在排除联轴器与轴套失去紧力(实际联轴器与转轴一体),联轴器的错位,不均匀电磁力等因素之后,可以做出引起振动增大故障原因是转子平衡恶化的明确诊断。

2. 振动增大后不能复原

振动爬升后,再次启动,即使冷态启动,振动也不能恢复至原来数据。

3. 振动增大开始较缓慢,而后加速发展

这种现象表明,转子平衡恶化随机组运行时间增长是加速恶化。能引起这种平衡恶化的故障原因只有两种,一是莫顿效应,由于轴颈与轴瓦乌金摩擦加速恶化,造成转子热弯曲不断加速增大;二是转轴产生横向裂纹,裂纹长度、深度随着运行时间增长,在加速发展,高速下挠曲增大,转子不平衡加速增大。

4. 临界转速下振动和低速下轴振晃度均无变化

#3、#4 瓦轴振增大后打闸停机,在转子临界转速下,轴振、400rpm 下轴振晃度值均无变化,产生这种现象说明有着下列故障特征:

- 转子一阶平衡没有恶化;
- 带负荷后转子没有产生热弯曲,或者降速通过临界转速时,转子热弯曲已经消失;
- 联轴器没有错位;
- 莫顿效应引起转子平衡加速恶化;
- 转子裂纹发生在端部,而且裂纹长度、深度均不大。

5. 振动热变量随运行时间增长显着增长

这种现象证明机组带负荷后,转子产生了明显的热弯曲,而且振动热变量是在加速增长。

2 号机投运三年多来,振动一直良好,由此可以排除转子材质和内应力过大产生的热弯曲;转子也无中心孔,转轴上无套装零件,由此可排除中心孔进油、套装零件失去紧力转子产生热弯曲,剩下不能

排除的转子热弯曲故障原因只有两个,一个是莫顿效应;因为莫顿效应 3000rpm 下和带负荷下振动增大,停机通过转子一阶临界转速下振动和低速下轴振晃度均无大的变化,但振动热变量随着运行时间增长,并不十分明显;二是转轴产生了横向裂纹,裂纹深度和长度增大,一方面使转子在高速下挠曲增大,引起转子不平衡恶化;另一方面裂纹径向小张口造成该方向轴向传热热阻增大,引起转轴径向不对称温差产生热弯曲。

综合上述 2 号机振动现象和特征分析、推理、诊断可以得出 2 号机振动不断增大原因,是低压转子平衡不断恶化,这一点可以肯定。引起这种平衡恶化故障原因目前有两个故障不能排除,一是莫顿效应;二是转轴横向裂纹。

6. 莫顿效应的排除

从故障生成机组来说,与该机振动历史不符,因为该机在 2011 年 7 月 16 日以前,振动一直良好,由此可以排除因机组设计缺陷而发生的莫顿效应,发生莫顿效应另一个原因是运行中乌金温度过高引起碾压,或者检修中刮瓦不当,引起轴颈与乌金摩擦发热,产生莫顿效应,但自 7 月 18 日以来,没有检修、修刮轴瓦,运行中乌金温度正常,因而从莫顿效应形成机理分析,#3、#4 瓦不应发生莫顿效应。

7. 转子返厂修理

现场揭缸检查未能发现问题。转子返回制造厂后,首先进行高速平衡,平衡一阶振动,需加重 1Kg,平衡 3000rpm 下振动需加重 8Kg,这并不是因为 3000rpm 下振动过大,而是加重的响应值太低所致,当时怀疑转子存在永久弯曲,后经实测转子弯曲为 0.035mm,与电厂在汽缸内测量结果一致。

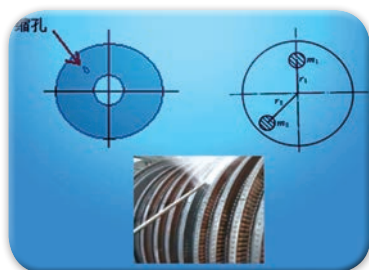
排除了转子永久弯曲之后,怀疑末级叶片存在严重的重径积不平衡,造成转子产生三阶不平衡,实际这与该机振动历史不符,因为该机投产以来,#3、#4 瓦轴振一直良好,说明转子并没有产生明显的三阶不平衡振动。

为了消除转子三阶不平衡,将末二级叶片全部拆除,重新做高速动平衡,但高速下不平衡量也达 4Kg。这种可假设末二级叶片确定存在较大重径积不平衡,因而叶片拆除后,转子产生新的严重的刚性不平衡,但高速下柔性不平衡并没有减小。

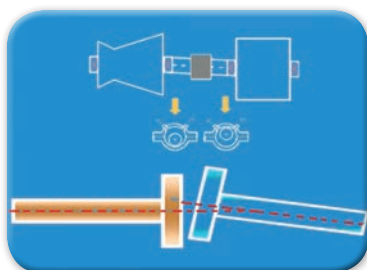
末二级叶片拆除后,未能减小高速下不平衡量,为此决定将转子上所有叶片全部拆除,对光轴进行高速平衡,在拆除叶片过程中无意发现在 #4 瓦侧靠近末级叶片处,距 #4 瓦中心 868mm 处,存在一条周长 50mm (1/4 圆周),宽度为 0.04mm 的横向裂纹,后经测量裂纹深度为 30mm (1/20 轴颈)。

运行指导

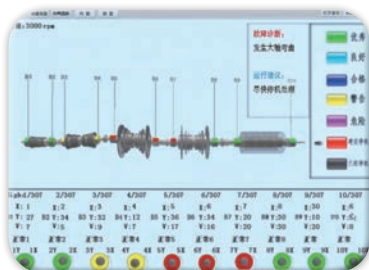
对于已经发生的故障现象，BCT101 系统能够给出有针对性的处理意见，减少不必要的检修和停机时间，创造巨大的社会效益和经济效益。



不平衡



不对中



大轴弯曲



轴承磨损

对于**不平衡**故障，能够自动分析不平衡的性质和原因，给出一次加准动平衡方法，可以有效地减少机组启停机次数。

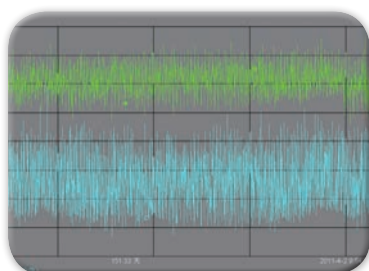
对于**不对中**故障，能够妥善处理冷态不对中与热态不对中的关系，确定是否需要调整以及调整量。

对于**碰磨**故障，能够区分各种类型，确定机组是否可以继续运行以及减轻和消除碰磨的措施。

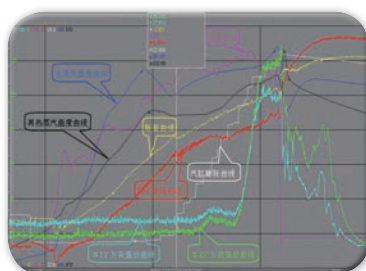
对于**大轴弯曲**故障，确定是否需要直轴以及消除弯曲的方法。

对于**轴承磨损**故障，确定是否需要修复以及修复的方法等。

☀ 当机组遇到以下情况启动比较困难，但根据现场情况不需要紧急停机时，BCT101 系统能够自动提出更加合理的启动方式和启动参数，指导机组快速安全地启动。



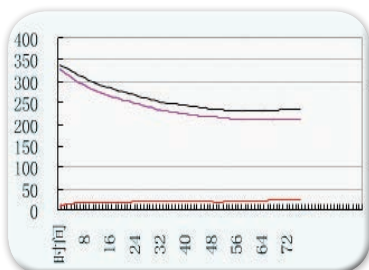
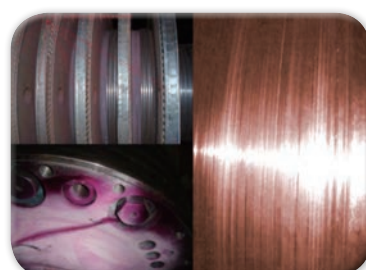
振动大



胀差大

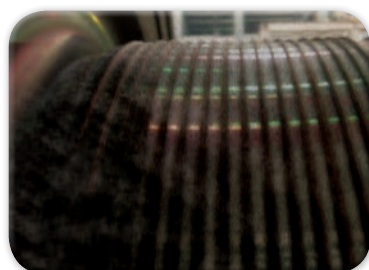


轴瓦温度偏高

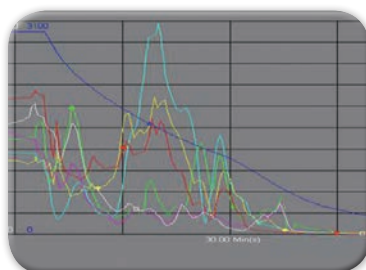
上下缸温差大
内外缸温差大各动静间隙较小
接近发生碰磨等

碰磨

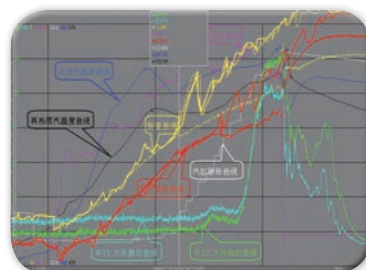
☀ 当机组遇到以下情况，处于极端事故边缘，但不具备停机检修条件时，BCT101系统能够自动提出科学合理的解决方案，减少停机时间。



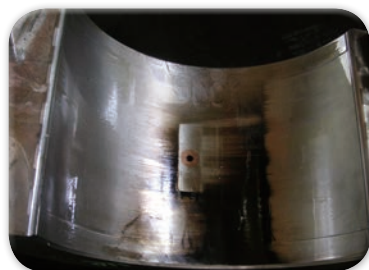
动静摩擦



振动超标



胀差超标



轴瓦金属温度超标

上下缸温差超标
内外缸温差超标

汽轮机进水等

BCT101 现场案例

大同电厂 #8 机组

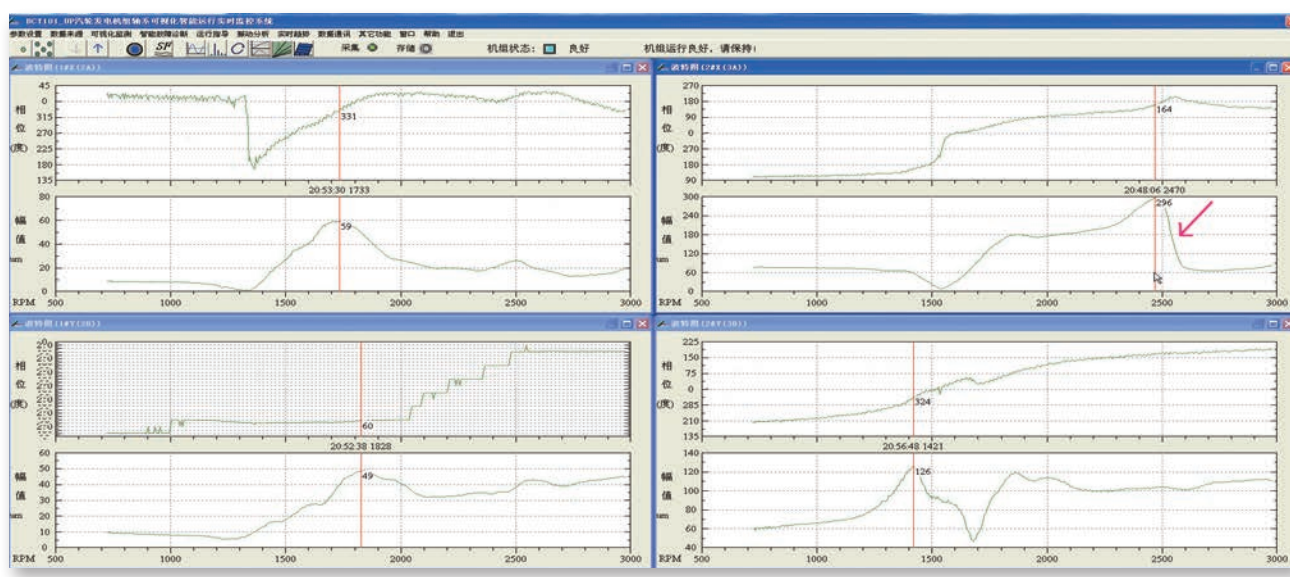
大同电厂 8 号机组为亚临界、一次中间再热、四缸四排汽、单轴、直接空冷凝汽式 600MW 汽轮机，型号为 NZK600-16.7/538/538，振动监测保护系统 (TSI) 为本特利公司的 3500 旋转机械监测装置。该机组运行中高压缸转子 2 号轴承轴振振动一直偏高，达到 $150\mu\text{m}$ 。在大修期间，根据我公司专家意见对高压转子轴承的负载进行了调整，其中 1 号轴承下降 0.10mm 、2 号轴承抬高 0.10mm 。并且安装了我公司的 BCT101 系统。同时按计划更换了低压转子。

机组启动过程中的问题：

升速过程：机组在升速过程中比较平稳，在定速后，各轴承振动均较小，轴相对振动都在合格范围内，少数轴承振动稍大是存在轻微的不平衡产生强迫振动所致。

振动情况变化趋势：在 1 号轴承下降 0.10mm 、2 号轴承抬高 0.10mm 后，2 号轴承轴振振动峰峰值在

	过临界转速	定速 (3000rpm)	带负荷 (557MW)
2X	$180\mu\text{m}$	$84\mu\text{m}$	$85\mu\text{m}$
2Y	$126\mu\text{m}$	$109\mu\text{m}$	$54\mu\text{m}$ (更换探头)



升速过程中的波特图

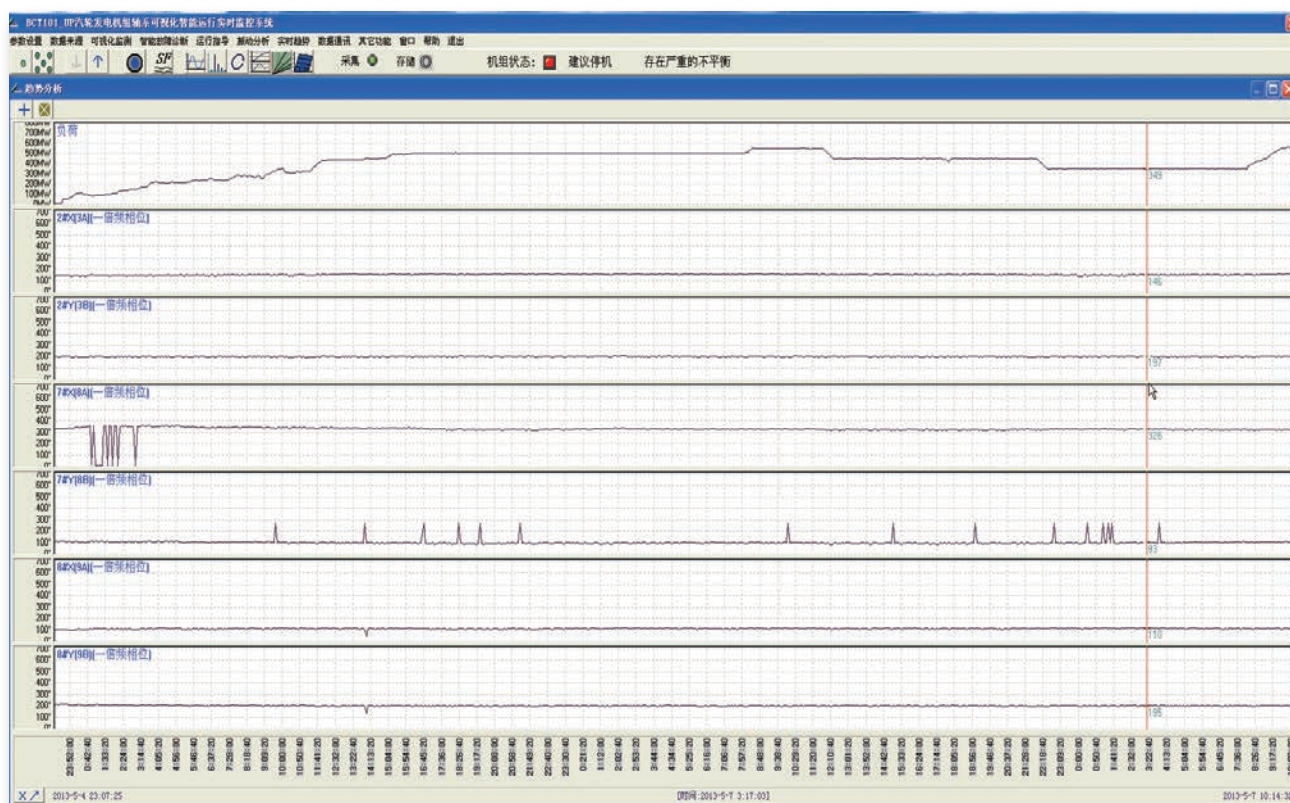
不同状态下如表所示，与原来满负荷时的 $150\mu\text{m}$ 相比有明显下降。

从上方 2X 波特图可以看出，在转速 2470rpm 左右振幅迅速增大，随着转速上升又迅速下降，并且重复性很好。因此，可以排除高压转子存在严重不平衡和碰摩问题。因高压转子的临界转速是 2011rpm 可以排除振动的变化是因为转子过临界转速。分析是传感器松动或轴承存在紧力不足等缺陷，产生部件共振。建议厂方下次检修可重点关注。

升负荷：带 550MW 左右负荷时，8X 轴振振幅达 $180\mu\text{m}$ 左右，热变量（带负荷振动与额定转速时振动的矢量差）为 $105\mu\text{m}$ ，角度 108° （与原始质量不平衡角度基本相同），7 号轴承也有相应增加。整个带负荷过程振动相位基本没有发生变化，并且振幅的变化明显滞后于负荷的变化。

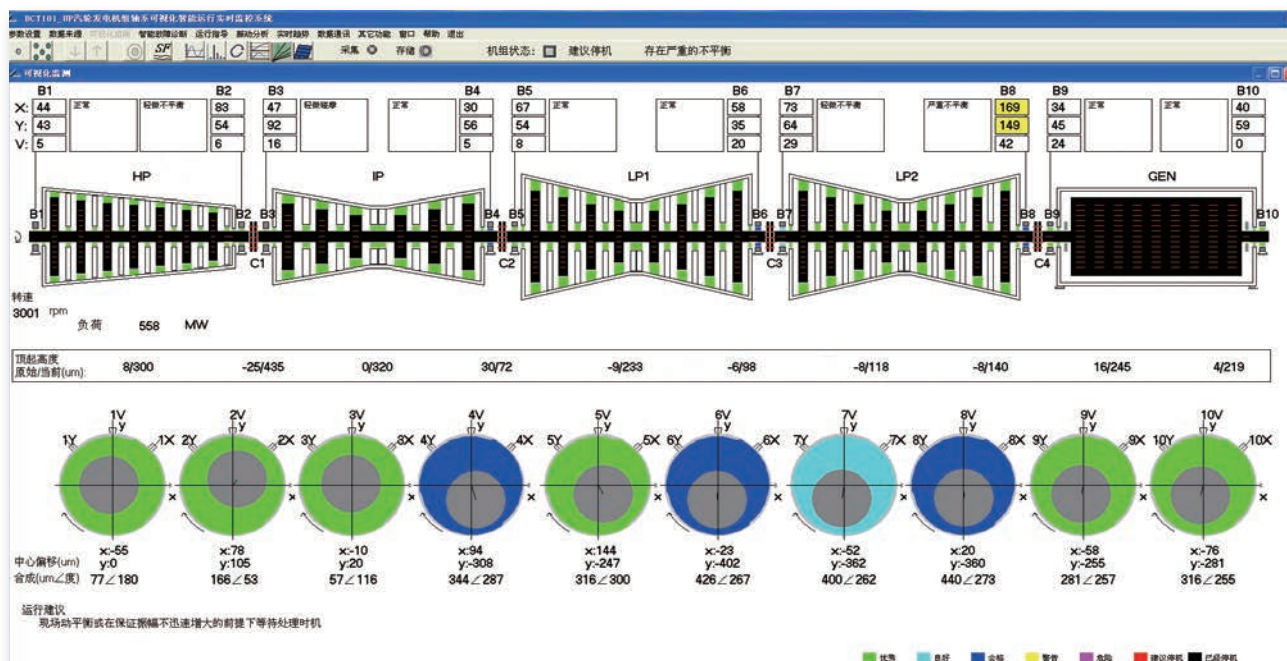
分析认为新更换的低压 II 转子的热变量偏大，热态不平衡引起的振动，并且热不平衡与原始不平衡基本同相，振动叠加造成振幅增大，没有发生动静碰摩和其它故障，可以维持运行。

建议厂方等到汽缸和转子的热膨胀基本稳定，在适当的时机进行动平衡，将振动降低到正常范围。

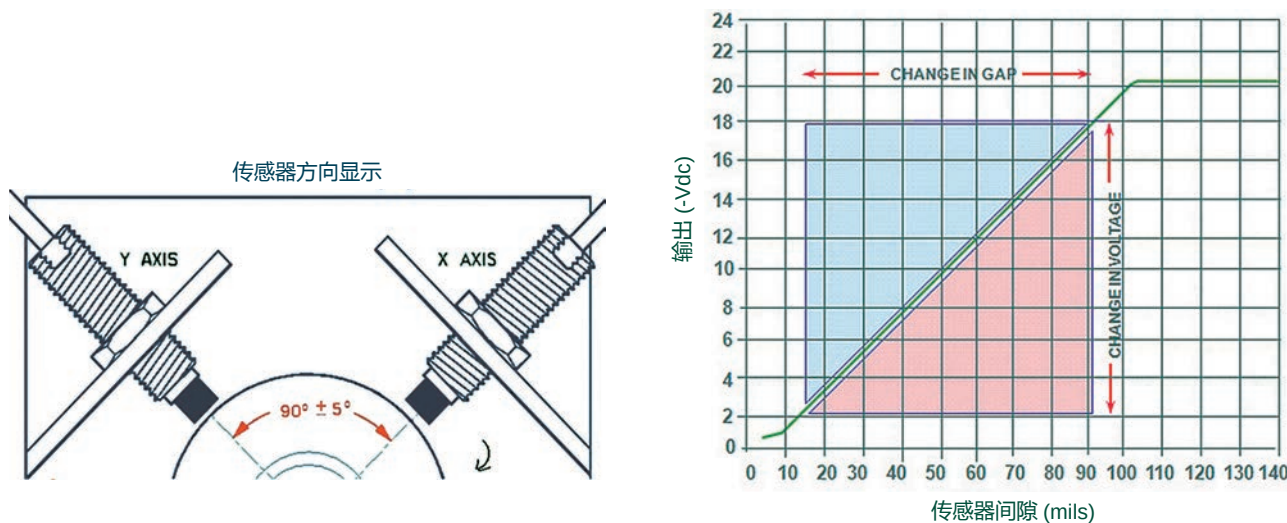


其它建议

机组正常运行后, 根据 BCT101 系统监测, 2 号轴承转子顶起高度达 0.43mm, 建议厂方下次检修可以根据情况将 2 号轴承标高再适当调整 (改变轴承标高是因为轴系扬度没有保证, 导致负载分配不均)。



当时, 测量轴振的电涡流传感器的安装间隙电压在 -10V 左右, 工作时的已经达到 -6.8V, 建议以后安装测量轴振的电涡流传感器的安装间隙电压在 -12V 左右为宜。如下图所示。



邹县电厂 #8 机组

邹县电厂 #8 机组汽轮机为超超临界、一次中间再热、单轴、双背压、四缸四排汽凝汽式 1000MW 汽轮机，型号为 N1000-25.0/600/600。机组大修中安装了我公司的 BCT101 系统。

机组启动过程中的问题：

高、中压转子碰摩振动

现象：机组大修后启动，机组在 600rpm 暖机后，振动较小，准备上升到 1500rpm 暖机，在转速 1000rpm 以后，2 号轴承振幅迅速增大，随后 1 号、4 号轴承振动有明显上升，打闸停机，降速过程中振动继续增大。

分析：根据振幅和相位的变化，可以排除高、中压转子存在质量不平衡的原因。判断振动的增大的原因是动静碰摩引起的。

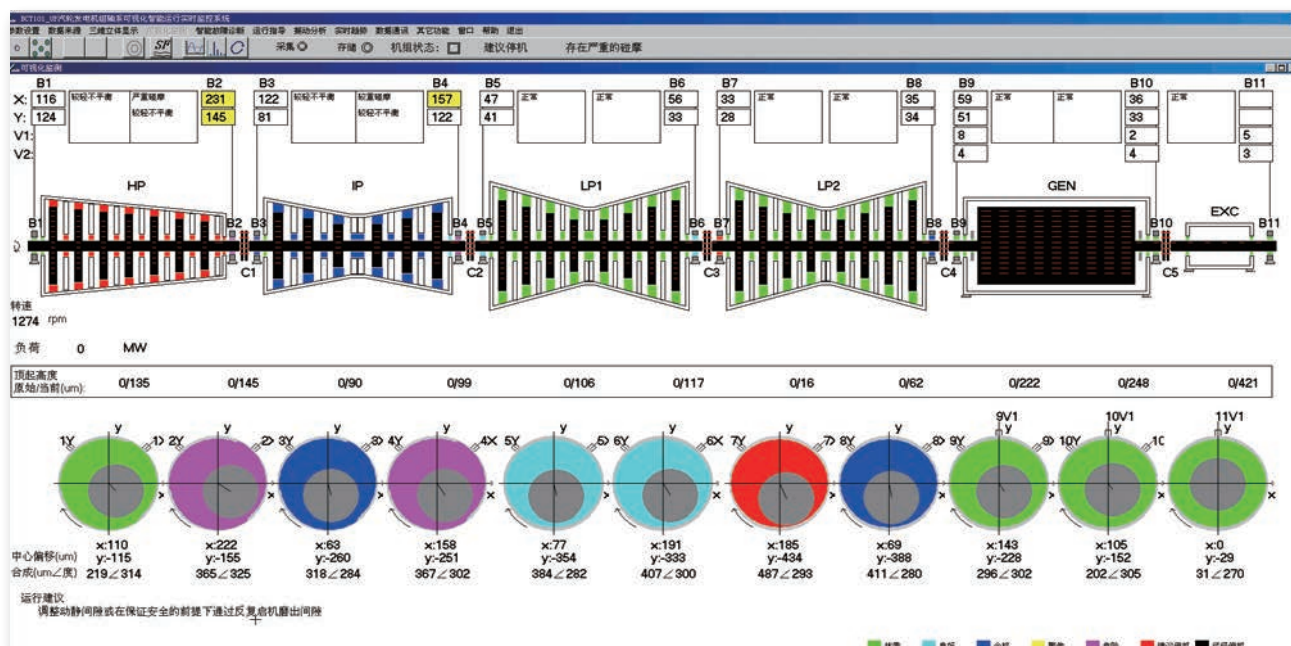
结果：经过 4 个小时的盘车后，再次冲转，升速到 1500rpm 暖机，振动正常。

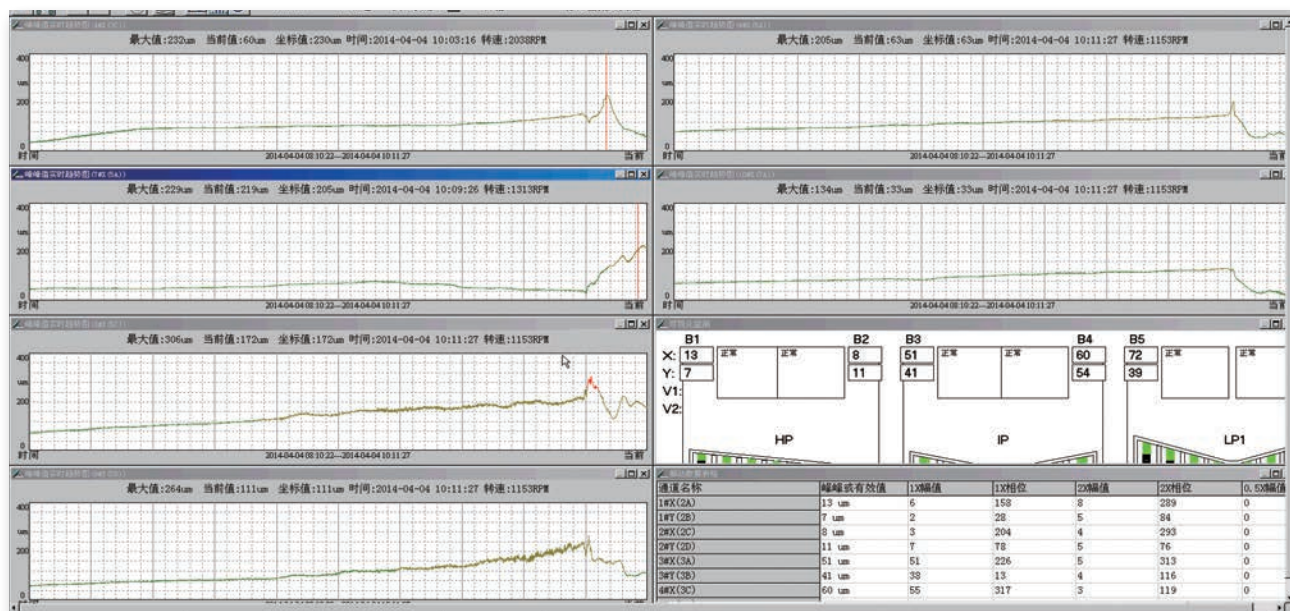
轴系碰摩振动

现象：#8 机组定速后，#8、#9 轴承的轴振振幅出现明显增大，然后低压缸和中压缸转子的振幅也明显增大。

分析：可以看到（如下图）振幅变化的同时相位有明显改变，在停机经过临界转速时，振幅比正常停机有明显增大，表明是碰摩引起的热不平衡振动。

结果：经过约 4 小时盘车后，再次冲转并升速到 3000rpm，振动恢复正常。



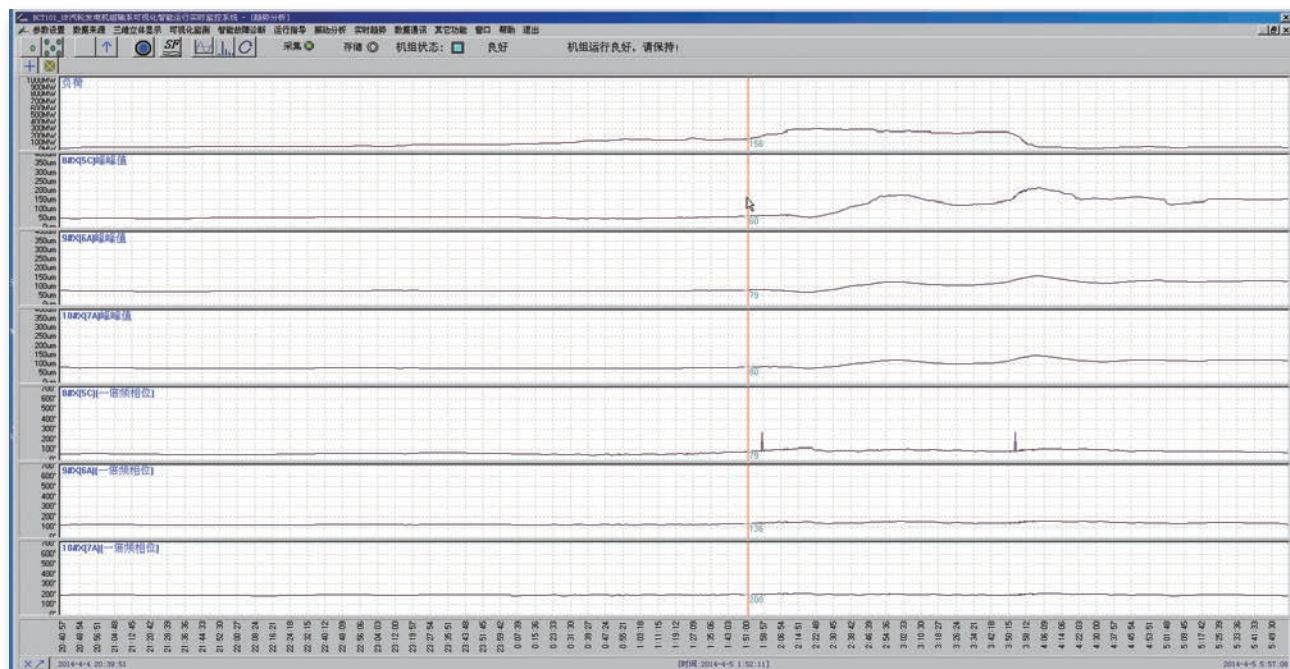


带负荷时低压II转子碰摩振动

现象: #8 机组带负荷到 200MW 左右以后, #8 轴承振幅出现明显波动, 同时相位也有明显波动, 在达到 300MW 后降低负荷, 振幅和相位有明显改变。(如下图)

分析: 由于振幅和相位同时发生改变, 分析认为是碰摩引起的振动(如果振幅和相位其中有一个不变, 则可能是热态不平衡)。

结果: 缓慢增加负荷并逐步到满负荷运行, 振动没有出现异常。



大龙电厂

大龙电厂 #2 机组汽轮机亚临界、一中间再热、单轴、两缸两排汽、凝汽式 300MW 汽轮机, 型号为 N300-16.7/537/537-A 型 (合缸)。利用大修安装了我公司的 BCT101 系统。

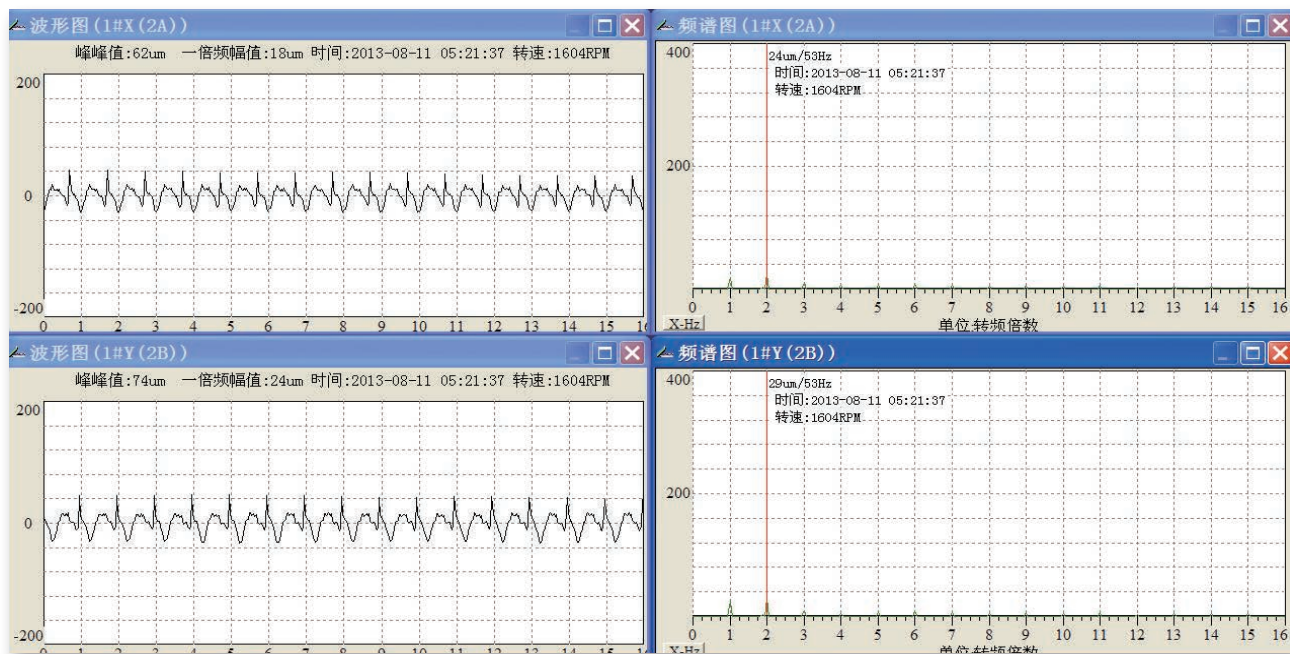
机组启动过程中的问题:

高压缸转子轴振测振带表面存在机械缺陷

现象: 利用 BCT101 系统发现在盘车过程中, 用电涡流传感器测量高压缸转子 1 号轴径处晃度的变化达到 $50\mu\text{m}$ 以上, 启动后发现波形存在有规律的尖峰, 频谱存在高倍频成分 (如下图)。

分析: 轴径监测处表面存在机械缺陷, 此缺陷造成幅值在 $30\mu\text{m}$ 以上 (如下图)。

结果: 为了防止启动过程中过临界误跳机, 建议将轴振保护跳闸值在原始基础上适当增加 $30\mu\text{m}$ 以上 ($250\mu\text{m}$ --- $280\mu\text{m}$)。



#5 轴承刚度较弱

现象: #5 轴承 (发电机前轴承) 在启动过程中, 转速升 2800rpm-3000rpm 时, 振幅由 $18\mu\text{m}$ 上升到 $40\mu\text{m}$ 左右。

分析: 表现主要是一倍频, 轴振不大, 分析认为由于轴承刚度较弱引起轴承座共振响应。

结果: 30 万机组刚度弱是共性, 是设计问题, 可以检查螺栓紧力是否不足或松动, 垫铁和基础是否松动, 必要时增加支承刚度; 若改变支承刚度不太现实, 此处可建议进行转子平衡减少激振力。

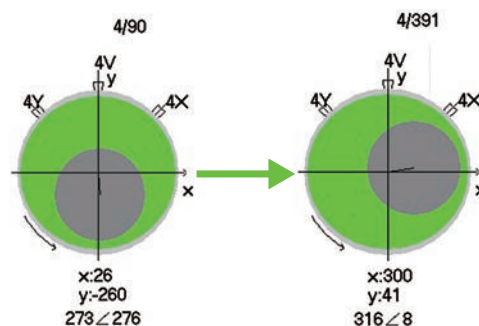
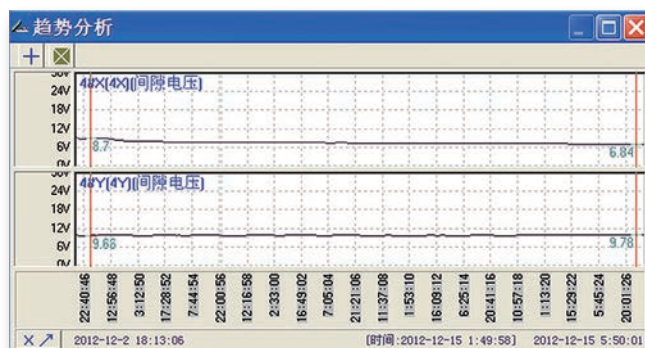
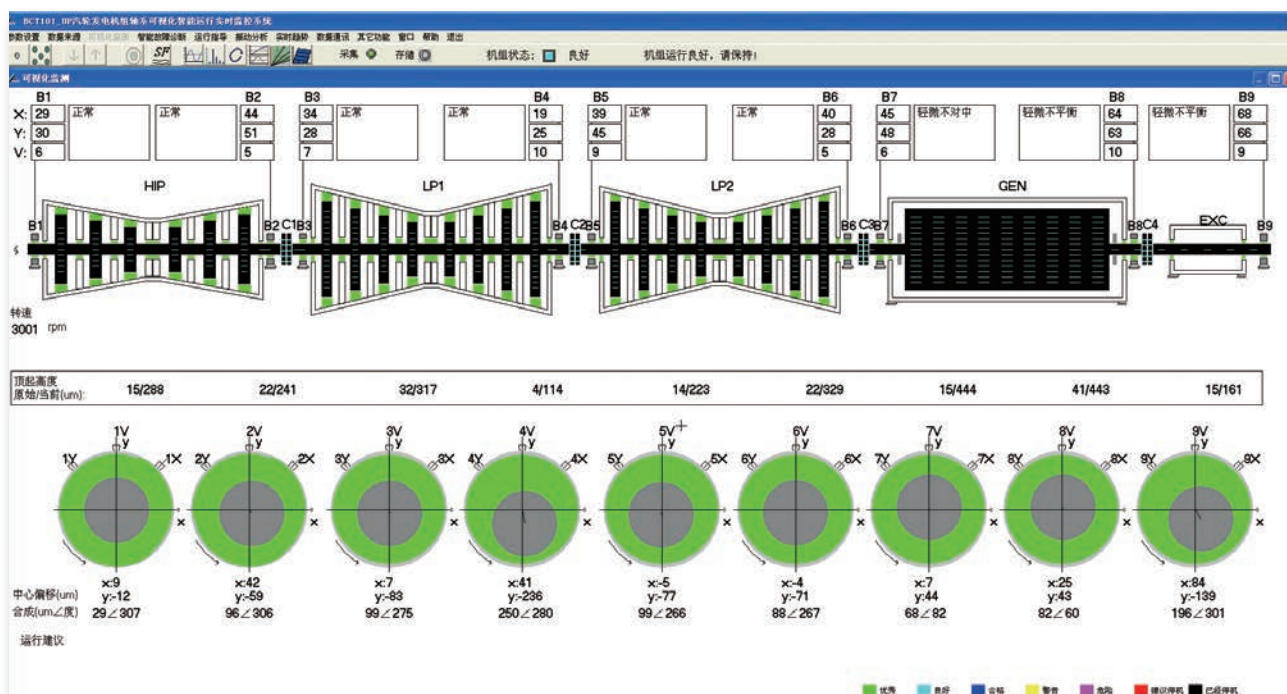
宣城电厂 #1 机组

宣城电厂 #1 机组为超临界、一次中间再热、反动式、单轴、三缸四排汽、凝汽式汽轮机（型号为 N600-24.2/566/566）。

现象：在 2013 年 4 月大修前，利用 BCT101 系统对机组的状态进行全面分析。发现在机组带负荷运行的 10 天左右时间内，4# 轴承（低压缸 A 后轴承）水平方向电涡流传感器的间隙电压变化达 2V 左右，显示屏中转子中心位置由轴承下方移动到右侧偏上。

分析：轴承已发生磨损，但当时振动平稳，建议厂方可以监视运行。

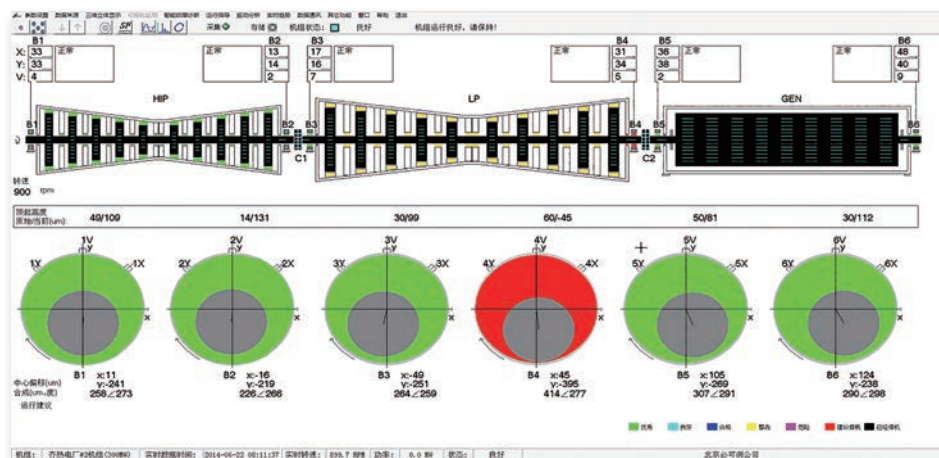
结果：根据我们的诊断，机组运行到大修未出现任何问题，在后续大修中，打开 #4 轴瓦，轴瓦已严重损伤，验证了我们的诊断。



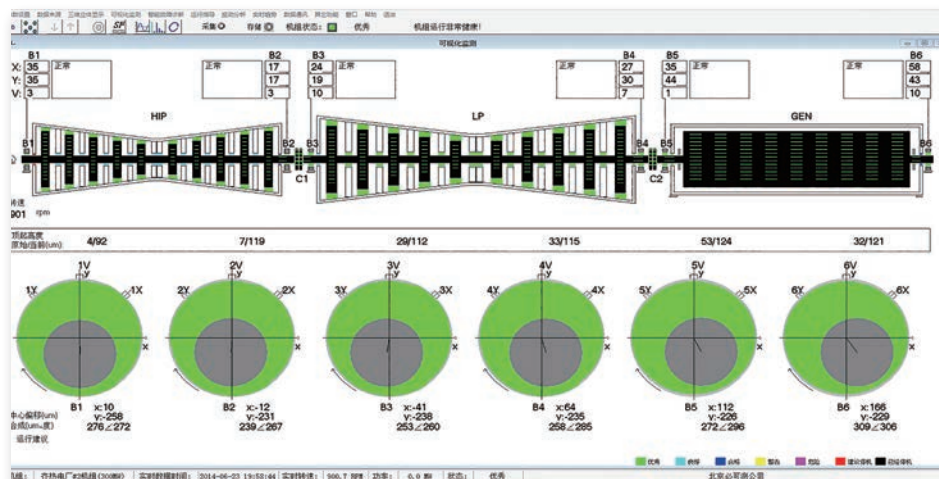
齐齐哈尔热电厂 #2 机组

齐齐哈尔热电厂 #2 机组因振动和瓦温异常停机处理。对高中压转子进行动平衡和 #4 可倾瓦进行修刮后,第 1 次启机。随着转速上升,#4 轴承不仅没有顶起,反而逐渐下降,引起轴承磨损,轴瓦温度快速升高。更换新瓦后第 2 次启机,顺利到定速并网发电。两次启机过程中转子在轴承中的顶起高度如下(第 1 次/第 2 次,单位:μm):

	#1 轴承	#2 轴承	#3 轴承	#4 轴承	#5 轴承	#6 轴承
冲转前清零	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0
100 rpm	30 / 12	49 / 35	20 / 15	-3 / 34	29 / 42	23 / 11
300 rpm	45 / 30	72 / 62	47 / 48	-9 / 60	39 / 63	53 / 49
500 rpm	65 / 50	91 / 82	65 / 68	-11 / 77	54 / 85	73 / 74
700 rpm	85 / 70	111 / 101	80 / 90	-35 / 95	66 / 104	93 / 97
900 rpm	109 / 92	131 / 119	99 / 112	-45 / 115	81 / 124	112 / 121



6 月 22 日启机, 转子在 4# 轴承中未能顶起



6 月 23 日启机, 转子在 4# 轴承中顺利顶起

新乡电厂 #1 机组

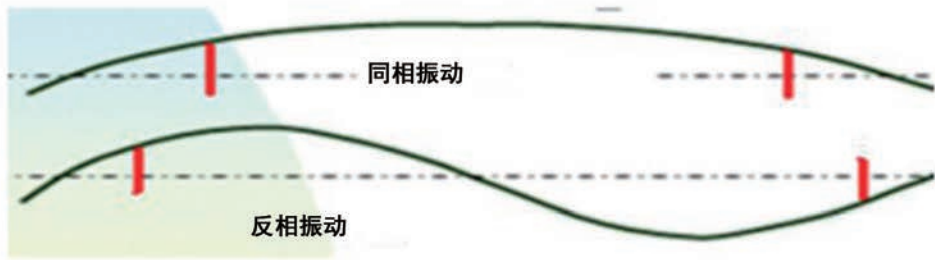
一号机组汽轮机为上海汽轮机有限公司生产制造的 N660-24.2/566/566 型超临界、一次中间再热、单轴、三缸四排汽, 八级回热抽汽, 双背压、凝汽式汽轮机, 发电机为上海汽轮发电机有限公司生产的 QFSN-660-2 三相同步汽轮发电机。

现象: 一号机组正常运行阶段 2、3、4 瓦轴振超过 $80\mu\text{m}$, 其中 4X 振动值在带负荷运行阶段维持在 $90\sim 100\mu\text{m}$ 之间, 振动值略微偏大。

分析: 机组带负荷运行阶段各瓦轴振稳定, 2、3、4 瓦轴振超过 $76\mu\text{m}$, 以工频成分为主, 属于普通强迫振动, 可采取现场动平衡降低其激振力措施改善振动。

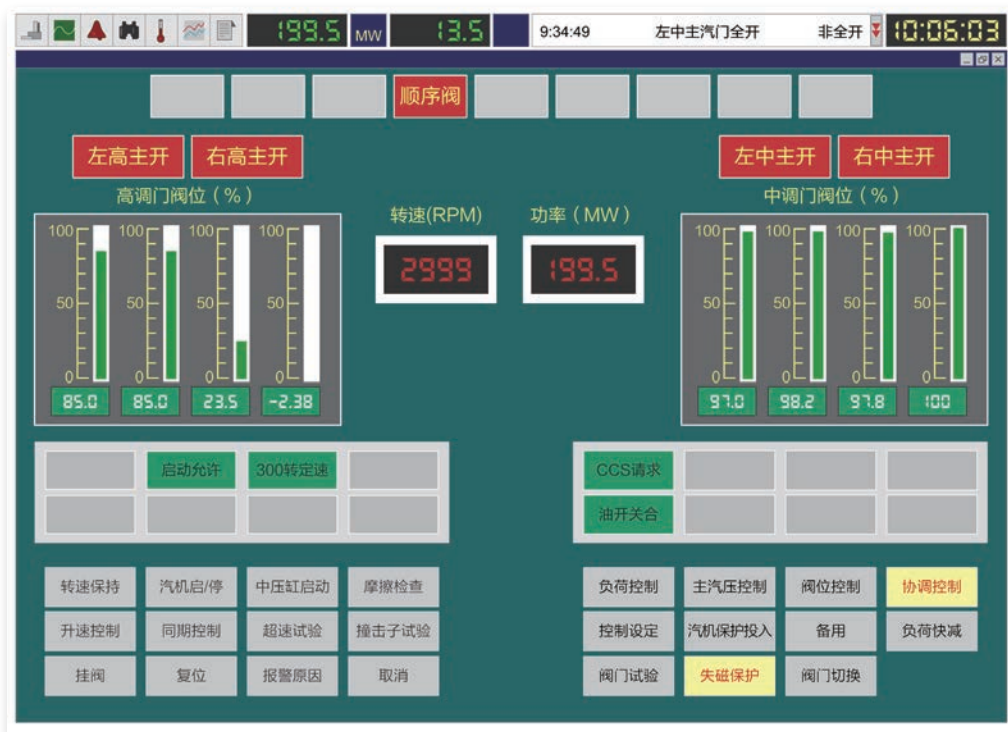
结果: 机组小修期间, 进行低压转子 1 反对称跨内配重 (3 瓦 $395\text{g}/30^\circ$ 、4 瓦 $400/210^\circ$), 小修后启动机组各瓦振动达到优秀水平。

动平衡计算数据

	测点	3X	4X	3Y	4Y
动平衡前	通频 (μ m)	62	108	91	89
	工频 (μ m / _ °)	55/_275	93/_65	85/_52	79/_186
	对称分量	26/_34		32/_114	
	反对称分量	72/_256		75/_30	
					
	配重: 3 瓦 395g/30 度 4 瓦 400/210 度				
动平衡后	通频 (μ m)	23	66	27	73
	工频 (μ m / _ °)	12/_49	57/_26	17/_107	64/_128
	对称分量	34/_30		40/_123	
	反对称分量	23/_200		24/_315	
影响系数		0.15731/_63.87072		0.18377/_198.62422	
最佳配重		457.7/_12.13		408.116/_11.376	
机械滞后角度		64°		108°	

某电厂 #1 机组

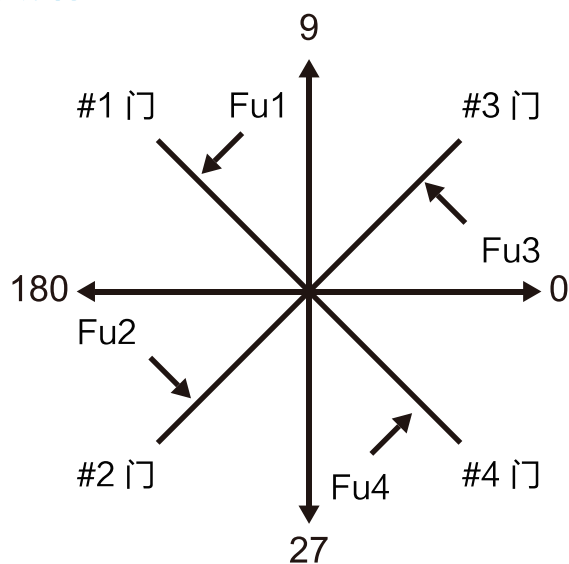
某厂机组在大修前为了进行优化运行,在 300 MW 负荷工况下进行阀门切换试验,在切换过程中 2 瓦 Y 方向轴振幅突然升高到 236 μ m,引起机组跳闸。



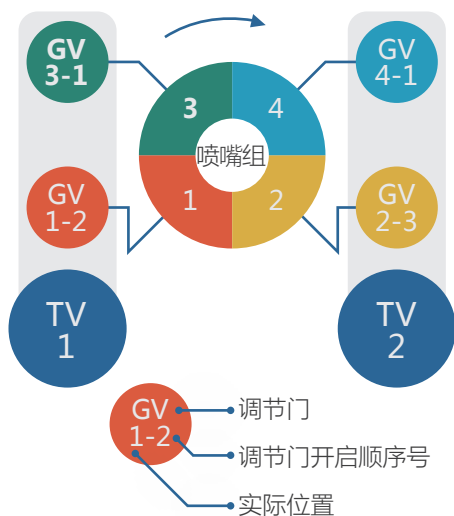
由单阀运行切换到顺序阀运行引起机组振动变化关系分析:

通过 BCT101 系统进行分析,其跳闸原因是油膜失稳造成的。在这种情况下由于轴受到蒸汽力作用轴颈产生径向位移,由于切向力 F_u 的作用使涡动加剧,油膜失稳,反过来又使涡动加剧,最后引起跳闸。其失稳过程可结合右图加以证明。

由右图可知,四个调节汽门分别控制四组喷嘴,由它的出口的高速蒸汽流在动叶上产生切向力 F_{u1} 、 F_{u2} 、 F_{u3} 、 F_{u4} 。这些切向力基本作用是产生力矩推动转子转动带动发电机发电,但是这些力的合力作用转子产生径向力,如果合力不为零,则推动转子产生径向位移。

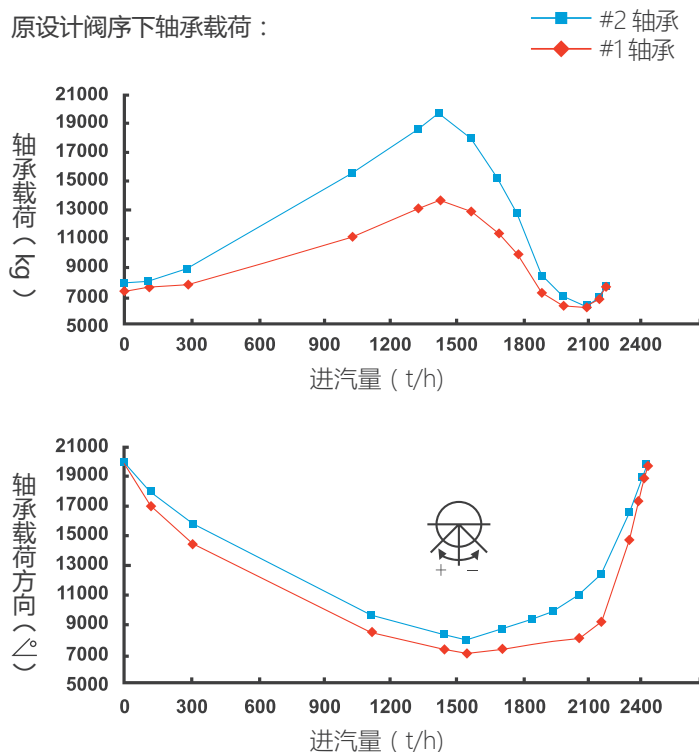


调节级动叶切向力分析图



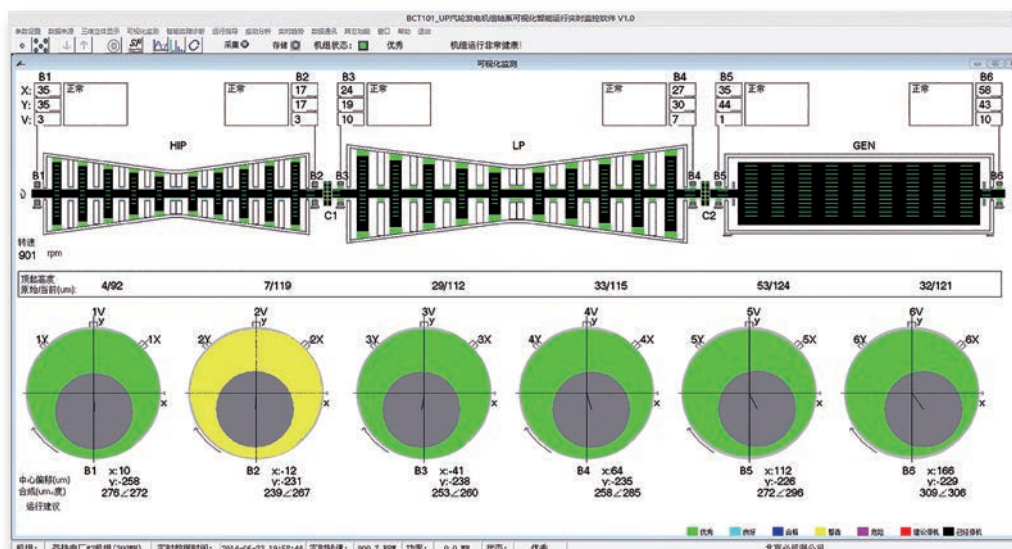
机组设计阀序 GV3+GV4 → GV1 → GV2，
切换过程中瓦温最高达 105℃，轴振最大幅
值达 108μm

原设计阀序下轴承载荷：



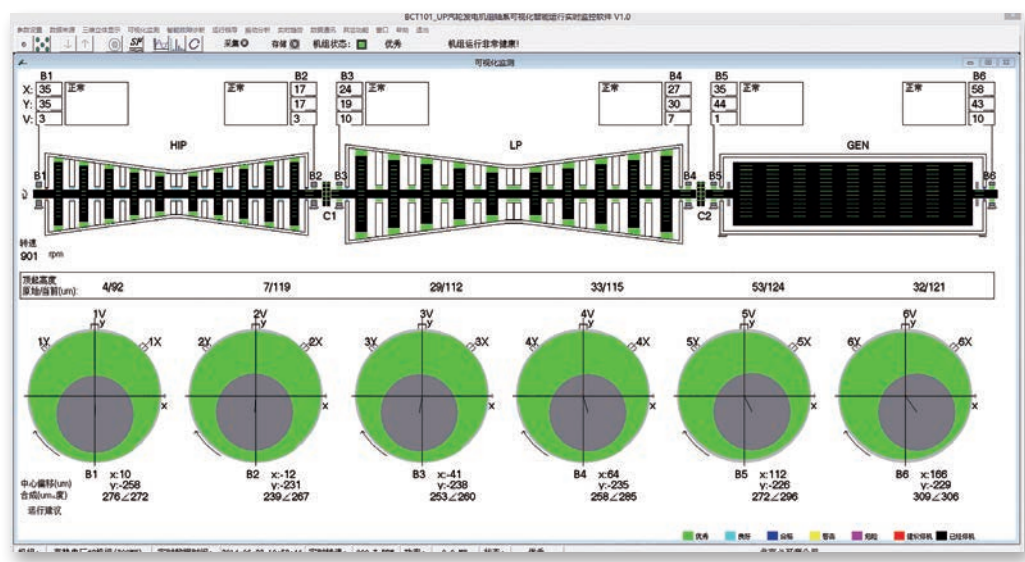
顺序阀运行时：

在 N =300MW 工况切换成顺序阀时，#1、#2 门全开，#3 门接近全开，#4 门部分开启，此时合力不为零，使轴颈产生径向位移，根据油膜涡动公式可知，此时由于切向力做功大于阻尼力做功，而使涡动加剧，同时轴心位置偏离基础位置，处于不稳定区域，在径向力的作用下，转子晃动达 26μm，使油膜厚度发生变化失稳，最后引起振动。



单阀运行时:

当只开启 #1 门时其切向力 F_{u1} ，使轴颈往左下方移动，只开启 #4 门时使轴颈往右上方移动。每个汽门开启后均有类似的作用。单阀运行模式下，机组负荷 $N = 300\text{MW}$ 时，四个门全开。则作用力合 $F_{u1} - F_{u4} = 0, F_{u2} - F_{u3} = 0$ 。轴颈不会产生径向位移，油膜厚度不发生变化，机组运行稳定。



由以上案例说明，调门的控制阀序，引起油膜涡动，将直接影响机组的振动变化。通过 BCT101 可视化轴系监控系统，可发现机组运行中的油膜变化，计算得出对应调门的控制逻辑顺序及开度，给 DCS 工程师组态提供参考和依据。

油膜厚度也是导致机组故障的原因:

根据 BCT101 系统原理是，通过测得运行中振动探头的间隙电压值和启动前的初始值比较，经过精确计算和模态转换，得出汽轮机各轴瓦的油膜厚度值。根据原始记录启机前间隙电压 $V_0 = -10.2\text{V}$ ，在运行工况下测得间隙电压平均值 $V_{cp} = -8.578\text{V}$ ，估算轴与轴瓦间间隙 $227\mu\text{m}$ 。从 BCT101 可视化汽轮机轴系监测系统画面可以看出，机组当前油膜厚度有很大变化，机组轴在轴瓦中心位置变化 $26\mu\text{m}$ ，引起相应参数发生相应变化，轴振幅值大大增加，其增加值大约是 3—4 倍。特别应该指出的是，振动成份中有 0.5 倍频，即半倍频。众所周知，振动中 0.5 倍频多是油膜的半速涡动，油膜有半速涡动是油膜不稳定的主要标志。

2014 年 7 月 9 日机组停机后，对轴瓦间隙进行调整，再次启动机组，通过 BCT101 系统，检测出轴心位置下降到 $173\mu\text{m}$ ，处于稳定值，在同样的径向力作用下油膜厚度不会减小或者减小很少。此时切向力相对减小而阻尼力相对增加，使 $W < 0$ 因为没有输入能量驱使涡动。此次从单阀控制切换向顺序阀控制过程中，即使有径向作用力也不会引起涡动加剧，从而保持振动幅值不变，保证机组可靠运行。

! 注意事项

BCT101 系统为模块化设计,除了电源和主机模块外,数据采集箱主要有键相、振动和过程量模块。

振动信号可以从传感器输出信号或本特利 3300、3500 等监测系统的缓冲输出获得。过程量信号可以用过程量模块采集,也可以采用通讯方式从现场的有关信号测量系统或接口获得。

每台汽轮发电机组配备一台数据采集箱,完成全部模块的数据采集。每个电厂配备一台数据服务器,完成与各数据采集箱的通讯,实现数据存储,并实现与各工程师站和远程诊断中心数据通讯。

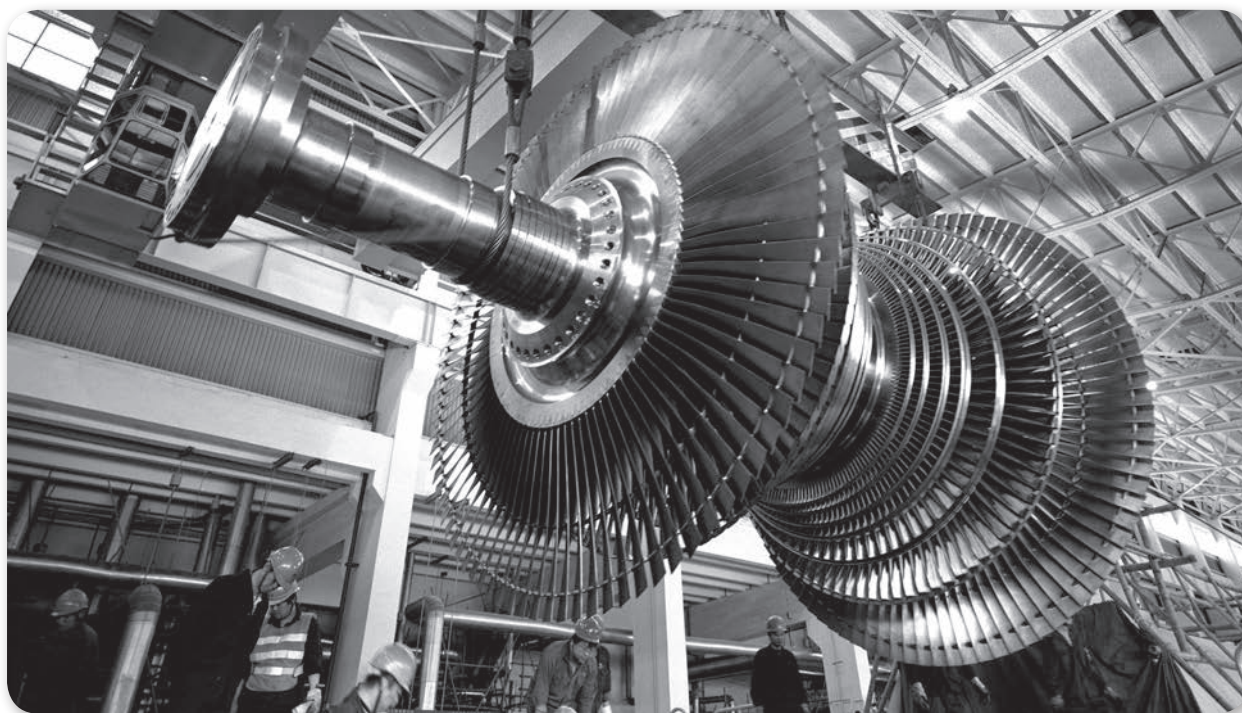
由于振动监测诊断的专业性很强,根据监测对象的实际情况和用户要求,我公司在传感器选择、测点布置、TDM 系统改造和信号分析等方面,可以提供免费咨询服务。

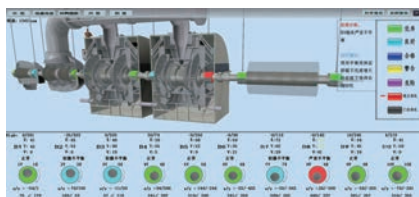
BCT101 系统是我公司成熟可靠的产品,能够及时为用户提供系统安装调试、使用培训、技术咨询、机组问题处理和软件升级等服务。

若您有任何问题,请与必可测公司联系。

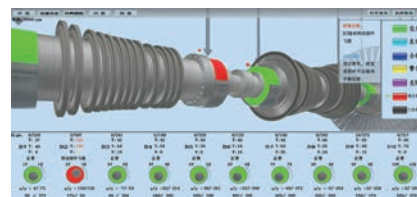
厂里解决不了的汽轮机故障分析、 诊断及检修问题, 我们可以帮助解决!

我们拥有国内知名汽轮机振动专家领导的团队, 为您解决各种型号的汽轮机高压转子、低压转子、发电机转子的不平衡故障; 可以进行现场或者远程的动平衡工作, 解决现场汽轮机组出现的各种故障。





业绩表



序号	安装日期	客户名称	设备配置	TSI 厂家	TDM 厂家	地址
1	2012.08	国投钦州发电有限公司	2 号机 60 万东方	MMS6000	英华达	广西省钦州港果鹰大道 1 号 535008
2	2012.09	华电贵州大方发电有限公司	4 号机 30 万东方	MMS6000	英华达	贵州省毕节地区大方县大方电厂 551600
3	2012.09	国电长治热电厂	2 号机 33 万北重	MMS6000	华科同安	山西省长治市郊区太阳路 1 号 046011
4	2012.10	国电长治热电厂	1 号机 33 万北重	MMS6000	华科同安	山西省长治市郊区太阳路 1 号 046011
5	2012.10	河北衡水发电有限公司	2 号机 30 万哈汽	3500	新	河北省衡水市人民西路 3389 号
6	2012.11	国投宣城电厂	1 号机 60 万哈汽	MMS6000	MMS6851	安徽省宣城市向阳镇
7	2013.04	河北衡水发电有限公司	1 号机 30 万哈汽	3300	新	河北省衡水市人民西路 699 号
8	2013.04	国电大同发电有限公司	8 号机 60 万东汽	3500	华科同安	山西省大同市青年路光华街 1 号
9	2013.06	国电福州江阴电厂	1 号机 60 万东汽	MMS6000	华科同安	福建省福清市江阴镇江阴工业集中区
10	2013.06	国电福州江阴电厂	2 号机 60 万东汽	MMS6000	华科同安	福建省福清市江阴镇江阴工业集中区
11	2013.07	国投广西钦州电厂	1 号机 60 万东方	MMS6000	英华达	广西省钦州港果鹰大道 1 号 535008
12	2013.07	华电贵州大龙电厂	2 号机 30 万东汽	3500	英华达	贵州省铜仁市玉屏县大龙镇
13	2013.08	国电泉州热电厂	1 号机 30 万东汽	3500	英华达	福建省泉州市泉港区南埔镇 362804
14	2013.09	国电泉州热电厂	2 号机 30 万东汽	3500	英华达	福建省泉州市泉港区南埔镇 362804
15	2013.10	华电牡丹江第二发电厂	7 号机 33 万哈汽	MMS6000	S8000	黑龙江省牡丹江市阳明区桦林路
16	2013.11	华电莱州电厂	2 号机 100 万东汽	MMS6000	S8000	山东省莱州市金城镇海北嘴村村北
17	2013.11	华电贵港发电有限公司	2 号机 63 万上汽	B3500	华科同安	广西贵港市中国华电贵港电厂 537138
18	2014.03	华电邹县电厂	8 号机 100 万东汽	B3501	S8000	山东省邹城市唐村镇邹县电厂
19	2014.03	华电莱州电厂	1 号机 100 万东汽	B3502	S8000	山东省莱州市金城镇海北嘴村村北
20	2014.05	青海华电大通发电有限公司	1 号机 30 万上汽	B3503	S8000	青海省西宁市大通县宁张公路 32 公里处 810100
21	2014.06	国电荥阳煤电一体化有限公司	1 号机 60 万东汽	MMS6000	华科同安	河南省荥阳市国电大道一号
22	2014.06	华电贵港发电有限公司	1 号机 63 万上汽	B3503	华科同安	广西贵港市中国华电贵港电厂 537138
23	2014.06	国电驻马店热电厂	2 号机 30 万上汽	MMS6000	新	河南省驻马店市经济开发区驿城大道 1318 号
24	2014.06	华电贵州大龙电厂	1 号机 30 万东汽	B3503	英华达	贵州省铜仁市玉屏县大龙镇
25	2014.06	华电哈尔滨热电厂	#1 机组	MMS6000		动力区安通街 125 号
26	2014.09	华电齐齐哈尔热电厂	2 号机 30 万哈汽	MMS6000	S8000	黑龙江省齐齐哈尔市建华区
27	2014.10	邹县电厂 #7 机组	7 号机 100 万东汽	B3503	S8000	山东省邹城市唐村镇邹县电厂
28		邹县 #7 机组辅机				
29	2014.11	国电南宁电厂	#1 机组	本特利 3500		广西壮族自治区南宁市东横县六景镇
30	2014.12	华电淄博热电厂	#5 机组	本特利 3500		山东省淄博市
31	2015.03	国电费县电厂	#1 机组 600MW 上汽	MMS6000	华科同安	山东省费县县城北
32	2015.03	国电黄金埠电厂	#2 机组 600MW 上汽	MMS6000	英华达	山西省上饶市余干县黄金埠镇
33	2015.07	华电能源哈尔滨第三发电厂	3 号机组 600MW 哈汽	MMS6000		黑龙江省哈尔滨市北郊 29 公里处
34	2015.08	华电哈尔滨热电厂	7 号机组 300MW 哈汽	MMS6000	华科同安	黑龙江省哈尔滨市动力区安通街 125 号
35	2015.09	华电宿州电厂	1 号机组 600MW 上汽	MMS6000	英华达	安徽省宿州市埇桥区符离镇
36	2015.11	华电宿州电厂	2 号机组 600MW 上汽	MMS6000	英华达	安徽省宿州市埇桥区符离镇
37	2015.11	华电能源哈尔滨第三发电厂	4 号机组 600MW 哈汽	MMS6000		黑龙江省哈尔滨市北郊 29 公里处
38	2015.12	华电能源牡丹江第二发电厂	8 号机组 300MW 哈汽	MMS6000	S8000	黑龙江省牡丹江市阳明区桦林路
39	2016.03	华电土右电厂	1 号机组 600MW 东汽	MMS6000		内蒙古自治区包头市土默特右旗沟门镇
40	2016.05	华电土右电厂	2 号机组 600MW 东汽	MMS6000		内蒙古自治区包头市土默特右旗沟门镇
41	2016.06	国电内蒙古东胜电厂	2 号机组 300MW 哈汽	MMS6000		内蒙古鄂尔多斯市东胜区富兴北路
42	2016.10	华能威海电厂	4 号机组 300MW 上汽	本特利 3500		山东省威海环翠区威海市环翠区
43	2016.10	国电黄金埠电厂	2 号机组 600MW	MMS6000		江西省上饶市余干县
44	2017.02	国家电投新昌电厂	1 号机组 670MW	本特利 3500		江西省南昌市新建区樵舍镇
45	2017.06	国电丰城电厂	1 号机组 340MW	本特利 3500		江西省丰城市
46	2017.07	大唐黄岛电厂	#5 机组	MMS6000		青岛市黄岛区崇明岛东路



用 智 能 工 程 技 术
装 备 世 界 级 企 业

北京必可测科技股份有限公司

北京市海淀区马连洼北路 8 号万霖科技大厦 A 座 5 层

Tel: +86(10)6281-8228, 6281-8878

Fax: +86(10)6281-8787

Email: sales@bkctech.com

www.bkctech.com