

# 大型旋转机械信号分析系统 SADP\*

韩 捷 张瑞林

(郑州工学院振动工程研究所 450002)

**摘 要:** 本文介绍了一套以石油、化工、发电、冶金等行业的大型旋转设备为对象的信号分析与数据处理系统。该系统是国家“八·五”重大技术攻关项目“大型旋转机械在线监测与故障诊断系统”的关键部分之一。本文概括说明了系统在动态计算、数据管理、分析处理功能等方面的特点, 并就各功能的实现及开发过程中一些关键问题进行了讨论。

**关键词:** 旋转机械, 信号分析, 数据处理

**中图分类号:** TP39

大型旋转机械, 如透平压缩机、大型鼓风机、发电机、轧钢机等是企业的关键设备, 对其进行在线监测与故障诊断是满足国民生产需要的重要研究课题。通过对设备监测、分析与诊断, 可以掌握设备的运行状况, 为设备的稳定、安全, 长周期运行提供科学依据。

旋转机械设备的信号分析与数据处理是“大型旋转机械在线监测与故障诊断系统”的重要组成部分。如果把故障诊断技术比喻为医疗诊断技术, 则信号分析与数据处理可比为心电图、脑电图、CT 扫描, 核磁共振等分析手段。它是机械设备状态识别与故障诊断的主要技术依据。合理、正确地设计系统的结构与准确、快速的计算与管理, 对于整个系统以及现场应用具有重要意义。

旋转机械的运行具有较强的周期信号的特征, 即具有以工作转速为周期的特点。处理、利用好这一基本特征是系统要考虑的关键问题之一。同时, 为了方便分析、比较设备的故障, 提供故障的特征信息, 需要在众多的机组、轴段、轴截面、测点以及各种常态、瞬态分析功能之间建立有机联系。因此系统在数据的存储、管理等方面也需要制定符合生产实际的方案。另一方面, 机组可能出现的故障是多方面的, 各种故障的表现特征又各不相同, 所以, 简单的几种分析往往具有其局限性, 研制出多个分析域的多种分析功能, 特别是一些具有系统特色的功能, 对于保证现场技术人员和诊断系统对故障的正确识别有着重要价值。

信号分析与数据处理系统 SADP, 即可单独做为一个系统运行, 供工程技术人员对

\* 国家“八·五”重大技术攻关项目, 项目编号: 85-307-05-04-01

收稿日期: 1995-04-22

机组分析、处理和诊断, 同时也可与专家诊断系统联合应用。在信息处理方面, 不仅可以处理在线的振动与工艺信息, 同时也可追忆以往所存储的历史信息, 其分析结果既可以数值输出供专家系统调用, 也可图形输出, 供用户保存使用, 另外, 还可以存储图形数据等。

该系统由 C 语言编制, 彩色图面、中文显示、全部操作指令由汉字提示, 设有误操作保护和在线信息求助子系统, 操作时可用键盘或鼠标, 灵活方便, 全部操作无需输入一个参数。人机交互全部由下拉式菜单、弹出式菜单完成, 操作采用功能键, 是实时和追忆分析的重要工具。

## 1 SADP 的数据管理

SADP 在数据管理方面主要按以下层次: a、在线信号与历史信号; b、存放位置; c、机组名; d、数据模式; e、通道号; f、文本选择等内容。

### 1.1 在线数据与历史数据

在线数据是指设备当前运行状态下由系统采集器所采的数据。历史数据是本系统根据机组过去的运行状态分级存储的数据, 该数据可以追忆无限长时间, 以进行参照或回忆。

在线数据与历史数据的区分, 在程序设计上均在系统环境菜单进行选择, 选择方式为增亮光标和鼠标选择。

### 1.2 机组的识别

无论在线还是历史数据, 均需识别机组。大型旋转机械在线监测与故障诊断采用 Novell 网络管理, 可以多台机组同时监测。其数据区分方式是在不同的机组子目录下存放各机组的实时或历史数据。比如某大型化肥厂共 6 台机组, 组态后其机组名在下拉菜单以汉字列出, 选择方式为增亮光条或鼠标。

### 1.3 机组状态识别

对于历史数据, 状态分类共有七种, 即一级数据、二级数据、三级数据、报警数据、危险数据、开车数据、停车数据。这些数据是由监测系统根据机组当时的运行状态确定的, 再行分析时需要进行识别。

对于在线数据, 系统根据不同状态分四种文件: 即正常数据、异常数据、开车数据、停车数据。这些文件是实时的, 系统只保留一段时间供分析系统调用, 若不调用, 将更新文件, 以跟踪当时的机组运行。

### 1.4 数据通道识别

大型旋转机械的机组往往具有的若干个振动和工艺参数测点, 在分析时只能逐个分析。该系统的通道识别是将机组的测点分布图调入屏幕, 以供光标或鼠标选择。图 1 为某大化肥厂 CO<sub>2</sub> 压缩机组通道选择示例

### 1.5 文本选择

根据以上选择, 组成数据路径, 历史数据分别从服务器、硬盘、软盘, 在线数据从服务器调入符合条件的文本以供选择, 其选择依据是文本的日期、时间等。

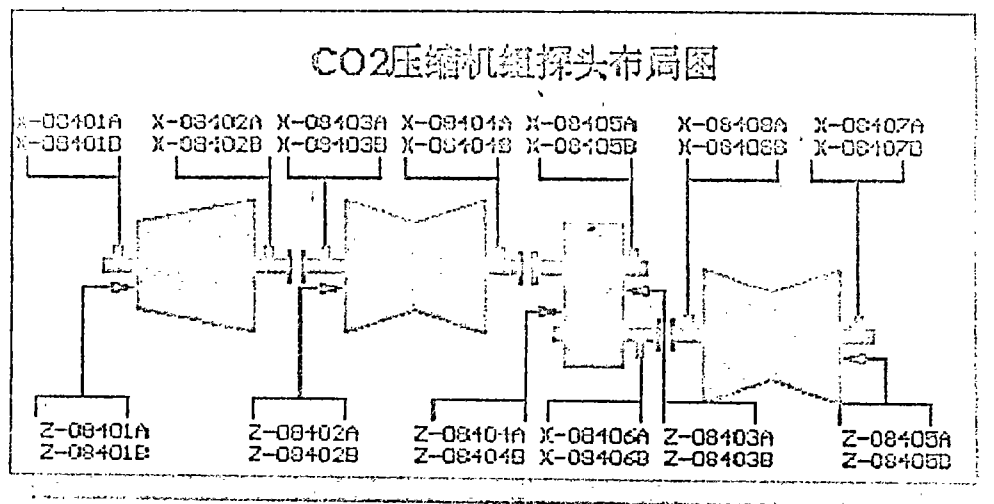


图 1 机组测点分布与数据通道选择

## 2 SADP 分析功能

数据处理与信号分析的主要任务是从不同的分析域以不同的角度去处理信号，以争取故障识别的完整性与准确性。在系统设计中，根据大系统提供的各种数据，系统可在时域、幅值域、频域、倒频域、序率域等进行分析，分析方式可以是稳态数据和瞬态数据。系统可完成的分析功能如表 1。

表 1 SADP 分析功能

序号	功 能	序号	功 能	序号	功 能
1	时基图分析	9	细化幅值谱	17	跟踪轴心轨迹
2	幅值谱分析	10	倒频谱分析	18	极坐标图分析
3	相位谱分析	11	二维全息谱	19	波特图分析
4	功率谱分析	12	极谱分析	20	三维图分析
5	轴心轨迹图	13	自相关分析	21	坎贝尔图
6	矢域图分析	14	互相关分析	22	提纯轴心轨迹
7	统计特征	15	互谱分析	23	谱图比较
8	特征谱分析	16	相干分析	24	沃尔什变较

系统的分析功能多达 24 种，用于不同情况下的各种分析与处理，其中用于分析开、停车数据的有 5 种。

除了具有较多的分析功能以外，系统在许多方面体现了自己的特色，主要有：

### 2.1 时域分析特点

本系统充分利用同步整周期采样这一优势，在时基图、轴心轨迹等时域图上加添键相

点指示, 逐周显示运行轨迹。同时引入概率密度直方图以及有量纲及无量纲的十几个时域参数评价指标。另外, 增添了提纯轴心轨迹等功能。在相关分析等具体处理方法上体现了自己的特点。图2为某信号的统计特征显示。

概率密度直方图

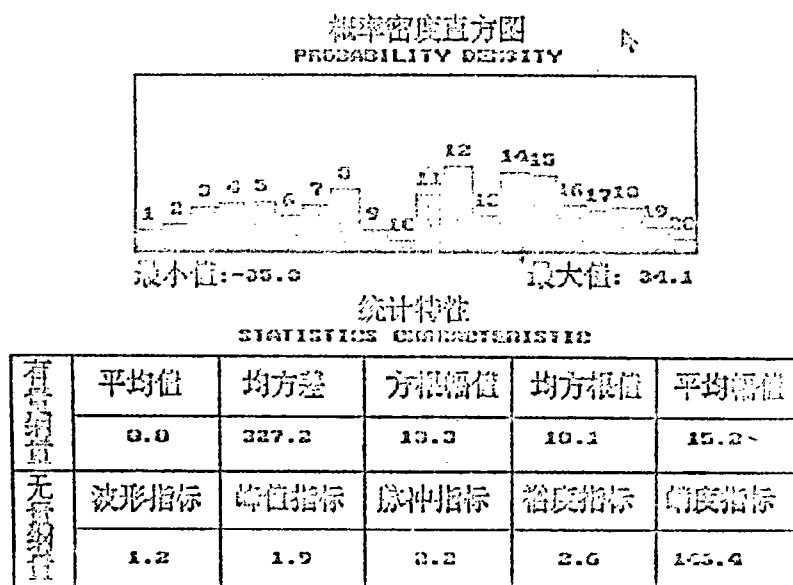


图2 某信号的统计特征

## 2.2 频域分析特征

由于系统采样为整周期采样, 设工频为  $f$ , 每周期采点为  $m$ , 共采  $L$  周, 则总点数为  $N=L \times m$ 。

采样间隔:  $dt = 1 / f / m$  (1)

采样频率:  $F = 1 / dt = f \cdot m$  (2)

分辨率:  $df = \frac{1}{N \cdot dt} = \frac{f \times m}{L \times m} = f / L$  (3)

即  $f_i = L \cdot df$  其中  $L$  为整数。 (4)

显然对于高次谐波, 有  $f_i = i \cdot L \cdot df$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) (5)

对于次谐波, 有  $f_i = i \cdot L \cdot df$  ( $i = 1/L, 2/L, 4/L, 8/L, \dots$ ) (6)

由于上述关系, 可以看出, 系统在工频、各级倍频、以及主要次谐波分量上的对位准确率为百分之百, 保证了系统的精度。

在具体作图方面, 其特点是各个倍频成分均具有其固定的位置。在这一方面, 系统的幅值谱实际上也起到了阶比谱的作用。

由(3)知系统的分辨率与转速成反比, 随着转速的升高, 会引起系统分辨率的下降, 为了进一步提高分析精度, 系统研制了具有同步整周期特色的细化谱分析功能, 只要给定

中心频度  $f_0$  和细化倍数  $D$ , 系统即可给出  $f_0 = \pm 100\text{Hz}$  以内的细化谱, 其中:

$$f_z = df / D$$

同时系统也研制有系统特点的互功率谱, 互相干, 倒频谱等分析功能。以分析各测点间的在频域或倒频域相互关系、影响等。

### 2.3 注重相位分析

相位的变化对于故障特征的研究往往具有重要意义。目前, 愈来愈多的学者提出故障诊断应加强对相位的研究。本着这一精神, 系统除专门设有相位谱功能之外, 还研制具有全系统多个通道典型频率的矢量端图, 把烈度与相位放在同等重要地位, 规定其正常运行的矢端区域。

另一方面, 结合多个通道, 以幅值和相位并存的谱图开发也成为信号处理的重要课题。本系统配有近年来国内研制的全息谱技术, 同时, 系统还开发出性能更为优良的极谱分析技术, 在含相位分析的全息技术与实用性之间架起了桥梁, 使 SADP 更具有特色。

### 2.4 瞬态分析注重时域

在设备开、停车的过程中, 过去延用的分析手段一般有 Bode 图分析, 极坐标图分析, 水落图分析等幅值与相位域分析功能, 而本系统除具备上述功能外, 更注意时域的数变化, 增加了跟踪轴心轨迹功能, 将设备在瞬时状态下的轴心轨迹用多幅图面显示, 其轨迹随速度的变化过程中幅值的逐渐加大, 以及相位的逐渐转化等信息一目了然。增加了对机组降速过程中动态特性的了解。图 3 是某机组升速过程中的跟踪轴心轨迹图。

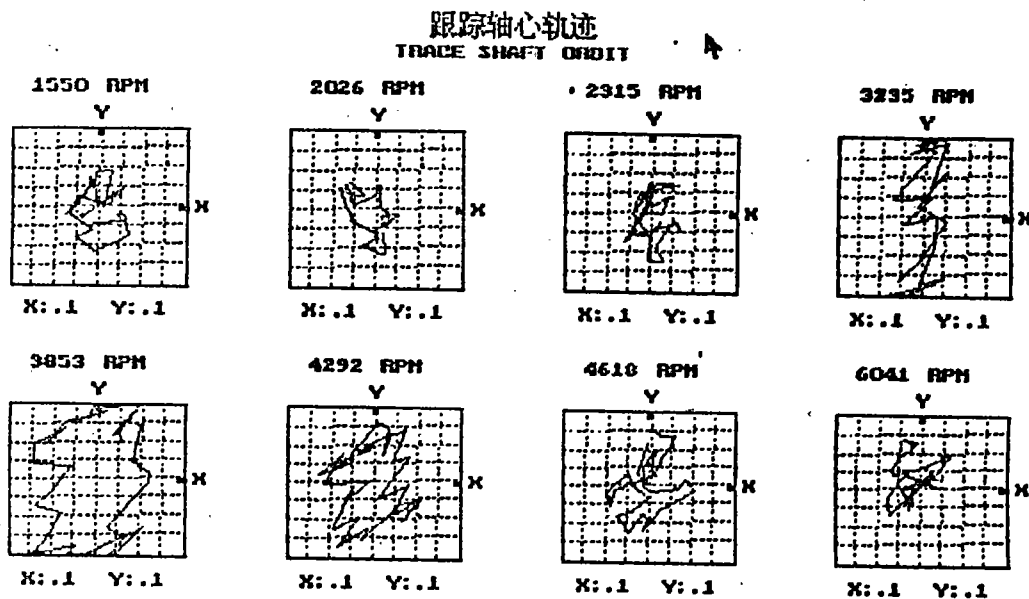


图 3 某瞬态信号的跟踪轴心轨迹图

### 3 系统的构成与特色

大型旋转机械信号处理系统 SADP 用 C 编写, 个别子程序采用汇编完成, 在以下几方面显示了其优越性。

3.1 计算速度快, 精度高。512 点浮点 FFT 时间小于 30ms, 24 段谱平均仅需不到 1 秒。幅值误差 < 1%。

3.2 良好的人机界面 系统采用彩色画面, 图式下拉菜单和弹出菜单, 图形采用窗口显示, 局部清屏, 全中文显示。

3.3 操作灵活 系统在操作员选择功能的间隔, 分时动态完成全部计算。全部功能一次选择出图, 各种功能均采用快速搜索和逐点搜索两种寻值方式, 所有画面动态显示, 手动刻度标定, 单位自由选取。全部操作由键盘或鼠标完成。

3.4 多向结论输出 SADP 的各种功能分析结果以数值方式输给专家分析系统, 专家系统将以此为基础进行故障推理。系统的图面可在 CRT 彩显, 并经调整后, 用热键或菜单选择方式在打印机输出。输出图面的大小、比例、色彩任选, 同时也可做为图式文件保存, 以备后用。

3.5 系统的求助系统 系统设有求助子系统, 任何时候按 F10 将给出即时的操作信息, 为操作者提供热态服务。

3.6 系统的坚固性 系统配有操作错误和设备错误陷阱, 并在错误发生时同时出现蜂鸣声和提示窗, 通知用户应如何操作。系统坚固实用, 傻瓜性很强

### 4 结语

“大型旋转机械在线监测与故障诊断系统”的信号分析数据处理系统 SADP 已应用于多家大型石油、化工企业, 系统运行良好。实践证明, 适合于旋转机械在线或离线分析, 具有较高的应用价值。

4.1 本文介绍了一个适用于大型旋转机械在线或离线分析的信号分析与数据处理系统 SADP。

4.2 该系统与国内外其它系统相比, 独具特色, 一些功能属于首次工程应用, 并研制出具有时代特点的系列幅值—相位多维联合谱, 使信号分析技术跃上了一个新台阶。

4.3 系统具有良好的人机界面, 操作灵活, 功能齐全, 画面直观。

4.4 该系统运行稳定, 坚固性好, 适合我国国情, 完全可以替代同类巨额进口软件。

### 参 考 文 献

- 1 Boris Allan, C programming principles & practice paradigm publishing, 1987.
- 2 Lawrence H. Miller Alexander E. Quilici, programming in C, John Wiley Sons, Inc, 1986
- 3 振动分析数据处理程序库. 中国科学出版社. 1986.
- 4 应怀樵. 波形和频谱分析与随机数据处理. 中国铁道出版社. 1985.

(下转第 118 页)

(上接第 57 页)

## Signal Analysis and Data process System SADP on Rotating Machinery

Han Jie    zhang Ruilin  
(zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** It is presented that procedure of developing signal analysis and data process system used in petroleum, chemical, generating, metallurgic industry fields. The system is one of key ports of "Online monitoring and faults diagnosis system of rotating machinery" that is a important technology project in "8.5" plan. The characteristics in dynamic calculating, data managing and various functions of the system has described generally. Some key topics in developing is discussed.

**Keywords:** rotating machinery, signal analysis, data process.

(上接第 81 页)

## 5 结束语

本文所述预测补偿动态电子秤经过一年多的使用表明性能稳定可靠, 精度小于 0.8% 满足 1% 的要求。系统结构简单, 经济实用。预测补偿有效地克服了由于振动、冲击、电机惯性、落差等随机扰动对称量精度的影响。硬件上采取的就地放大及信号变换, 有效地克服了小信号和线传输中的问题。

## 参 考 文 献

- 1 MCS-51 系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术. 何立民编著
2. 单片机应用系统设计与实践. 陈粤初等编著.
3. 预测控制. 席裕庚编著. 国防工业出版社.

## A Dynamic Electronic Weight with Predictive Compensation

Zhi Changyi    Lei Tanyou  
(Dept. of Computer and Sutomation, Zhen Zhou Institute of Technology)

**Abstract:** Apredictive compenstation dynamic electronic weight method of predictive compensation are proposed. The design of hardware and software are given. The system possesses the feature of reasonable design, simple struoture and the procision is less than 0.8% for 500g.

**Keywords:** single-chip-microcomputer dynamic electronic weight predictive compensation