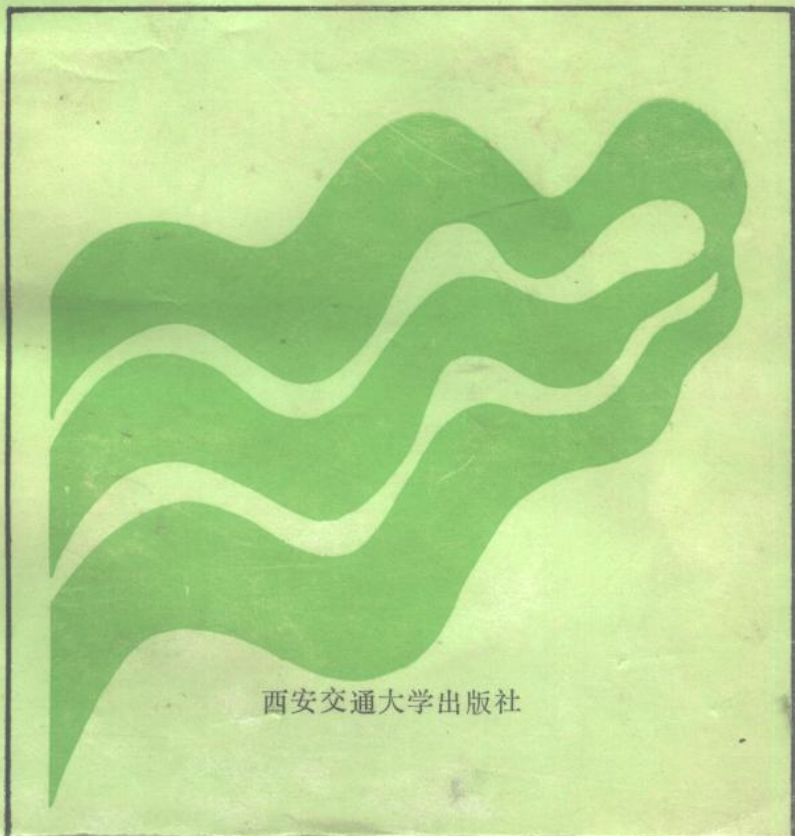




机械故障诊断丛书

机械故障诊断 FORTRAN 源程序汇编

沈玉娣 刘 雄 赵振毅



西安交通大学出版社

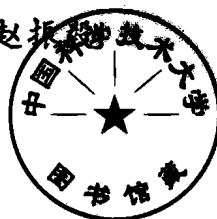
4

机械故障诊断丛书之四

机械故障诊断

FORTRAN 源程序汇编

沈玉娣 刘 雄 赵振



西安交通大学出版社

2870/59

内 容 简 介

本书是我社出版的“机械故障诊断丛书”中的一种。它包括了在机械故障诊断方面具有实用价值的 15 个源程序。主要有：机器运行状态监测和识别源程序；高分辨率谱分析源程序；齿轮、轴承故障诊断源程序；相关分析源程序；轴心相对位置源程序；求信号统计特征源程序等。

本软件包可以实现对机械、动力设备的运行状态的监测、机械的传动链的精度分析等。可供厂矿企业的广大科技人员和大专院校有关人员使用。

机械故障诊断 FORTRAN 源程序汇编

沈玉娣 刘 雄 赵振毅

责任编辑 赵丽平

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路 28 号)

西安电子科技大学出版社电脑排版

西安电子科技大学印刷厂印装

陕西省新华书店经售

开本 787×1092 1/32 印张 8.5625 字数：177 千字

1990 年 6 月第 1 版 1990 年 6 月第 1 次印刷

印数：1—4 000

ISBN7-5605-0337-3 / TH·15 定价：3.90 元

《机械故障诊断丛书》总前言

机械故障诊断技术是有关设备运行、维护的一项新兴技术。它的推广和应用，不但根本改变了原有设备维修制度，而且在保证设备安全运行、消除设备事故方面起着巨大的作用。当前，机械设备的运行维护，已经从单凭直觉的耳听、眼看、手摸发展到采用先进的传感技术、计算机和信息处理技术。新的监测手段，诸如超声、声发射、红外等，层出不穷。人工智能、专家系统、模糊数学一类新兴学科也在机械故障诊断技术中找到了用武之地。

近年来，在国家经委、中国设备管理协会和有关学会的大力支持下，机械故障诊断技术在我国各行业中的推广和应用正在方兴未艾。它已经并将继续在实践中获得巨大的经济效益和社会效益。本丛书的出版就是为适应广大工程技术人员的迫切需要而编写的。同时，也希望这套丛书能引起高等学校机械类专业广大师生和有关研究人员的兴趣。

我们在编写这套丛书时，既注意了它的科学性，又注意它的实用性。丛书保持了一定的理论深度，力求阐明机械故障诊断技术的理论基础，但又使之能为广大实际工作者所接受。对高等学校的师生和研究人员也有参考价值。为了尽量节约读者的精力和时间，丛书中每本就一个专题编写，字数限制在8万字左右。

由于各类产业机械在运行中既有各自的特点，又有某些共同点，同时机械故障诊断技术本身又正处于快速发展的阶

段。因此，本丛书在编写中既注意它的广泛性，即着重讨论多个行业中机械设备的共同技术问题，诸如轴承、齿轮、转子、润滑油等的监测与诊断，又注意在内容上具有开拓性，尽量向读者介绍和展示一些诊断方面的新技术、新动向。从书中有相当的比重是编写者多年来自己从事实际工作的总结，加以汇编成册。希望能在我国的生产中进一步得到应用和推广。

丛书本身是作者、编者和读者间的桥梁。当它和广大读者见面之后，作为编者和作者，能得到来自广大读者的反馈信息，使之不断得到改进和提高，是我们衷心的希望。

《机械故障诊断丛书》编辑委员会

1988年6月

序 言

本软件包是我室自 1979 年采用通用计算机进行机械状态监测和故障诊断的实践总结。软件包中全部源程序均在不同的课题应用中通过了实际的检验；其中一部分在国内外还未见发表过。

软件包中的各个软件可以用于不同类型机械的监测和诊断，诸如离心压缩机组、透平-发电机组、引擎、柔性生产线上的机床、石油化工机械及钻井平台设备等。它亦可用于直升飞机、喷气发动机、舰船和核电站设备的维护。

机械产品的动态质量保证问题，诸如振动和噪声源的确定和消减，近年来受到国内外的普遍重视。我们曾成功地应用本软件包提高包括车床、齿轮磨床、录音机机芯、摩托车齿轮箱、雷达伺服机构以及精密陀螺的运动精度和动态性能，并且获得了国家教委、电子工业部和机械工业部的科技进步奖；有两项成果被国家教委推荐为重大国家级科技成果。

多年来的实践证明，采用通用微型计算机比起专用的信息处理机来，具有如下一些优点：

1. 投资少，工厂易于上马并且迅速得到普及推广；
2. 比专用的信息处理机具有更强的功能；
3. 对具体不同的环境有更强的适应能力；
4. 较易于维护保养；
5. 监测、诊断系统的更新和换代的灵活性更大。

为了能成功地利用本软件包，首先应对机器的振动、噪声、声发射等动态信号拾取后进行适当的预处理，再经模数

变换送入计算机并建立相应的数据库文件。采用 FORTRAN 语言编写的采样程序取决于所采用的模数转换器，可以配套地向有关单位订购。

本软件包含有两类源程序：离线分析程序与在线监测程序。前者比后者需要更多的运行时间。建议在 IBM 计算机上装备 8087 芯片以提高运算速度。为了达到科学管理和存贮数据，形成计算机设备管理系统 (CEMS)，本软件包可与诸如 dBASE-III 或 LOTOS-Symphony 等相关数据库软件合用。我们曾在国内有关石化工厂作过相应的试验，经过长期运行，证明效果良好。

该软件包用 FORTRAN77 编写，适用于 IBM/PC-XT 或 AT 微型计算机。参数的输入采用人机对话形式。软件包中各程序均备有作图子程序，要求有 3.10 版本和 GRAPHICS.COM 的系统文件支持。

西安交通大学机械
监测与诊断研究室

1988 年 12 月

目 录

序 言

程序一	利用 FFT 方法求信号的离散谱	1
程序二	时域平均	21
程序三	相关分析	35
程序四	求两组信号的互功率谱	66
程序五	三维瀑布图	77
程序六	机器运行状态监测和识别	89
程序七	沃尔什(WALSH)变换	109
程序八	AR 建模及谱分析	119
程序九	倒谱分析	149
程序十	滚动轴承频率成分计算	170
程序十一	转子轴心瞬态轨迹监测和诊断	181
程序十二	转子轴心位置偏位角与偏心率监测 ...	191
程序十三	求信号的统计特性	199
程序十四	自适应消噪	211
程序十五	双谱分析	240
参考文献		

程序一 利用 FFT 方法求 信号的离散谱

一. 程序的功能

频谱分析技术是处理机械信号的最普通、最常用的方法，也是机器故障诊断的重要手段。本程序利用快速傅里叶变换(FFT)方法计算一实输入序列的频谱，提供机器运行状态的明显特征，借助于此方法可判断、估计机器潜在的故障，防止事故的发生。本程序适应性广，便于移植。它包括以下几方面的功能。

1. 回转机械的故障诊断

回转机械的振动包括强迫振动与自激振动。前者主要是由转子的不平衡、联轴器的对中、安装不良等原因引起的，其振动频率为转子的回转频率及其倍频。后者是由油膜涡动、油膜振荡、转子的内摩擦等原因引起的，其振动频率低于转子的回转频率。利用本程序可对回转机械的振动信号进行处理，从谱图中各谱峰的中心频率及对应的峰值找出引起机组振动的激振频率与激振原因，从而判断回转机械的运行状态是否正常。

2. 滚动轴承的故障诊断

滚动轴承零件的表面磨损、剥落、裂纹、压痕等缺陷会使滚动轴承在运行中出现低频脉动，激发各元件以其固有频率振动等。分析这些振动信号可以诊断滚动轴承的故障。其

方法是用低频信号接收法(接收 $0 \sim 20\text{kHz}$ 频带内的低频脉动)或谐振信号接收法拾取轴承零件的振动信号, 经谱分析获得幅值谱或功率谱, 由谱图上各频带的峰值变化判断滚动轴承零件的缺陷。

3. 齿轮装置故障诊断

用频谱分析的方法对齿轮装置的振动信号进行处理, 在谱图上可检测出齿轮及齿轮装置的故障。例如齿轮齿面的磨损, 可在频谱图中啮合频率及其谐波分量的幅值变化中检测出来。齿轮的偏心、轮齿局部缺陷等也能在谱图上反映出来。

二. 方法简介

快速傅里叶算法(FFT)是一种快速计算离散傅里叶变换(DFT)的计算机算法。它是通过将原序列不断分成两个较短序列而工作的。

设序列 $\{x_i\}$, $i = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$ 被划分成两个较短的序列 $\{y_i\}$ 、 $\{z_i\}$, 其中:

$$\left. \begin{array}{l} y_i = x_{2i} \\ z_i = x_{2i+1} \end{array} \right\} i = 0, 1, 2, \dots, (N/2 - 1) \quad (1-1)$$

且半序列 $\{y_i\}$ 、 $\{z_i\}$ 的离散傅里叶变化 $\bar{Y}_k$ 、 $\bar{Z}_k$ 为

$$\left. \begin{array}{l} \bar{Y}_k = \frac{1}{N/2} \sum_{i=0}^{N/2-1} y_i e^{-j2\pi k i / (N/2)} \\ \bar{Z}_k = \frac{1}{N/2} \sum_{i=0}^{N/2-1} z_i e^{-j2\pi k i / (N/2)} \end{array} \right\} k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (1-2)$$

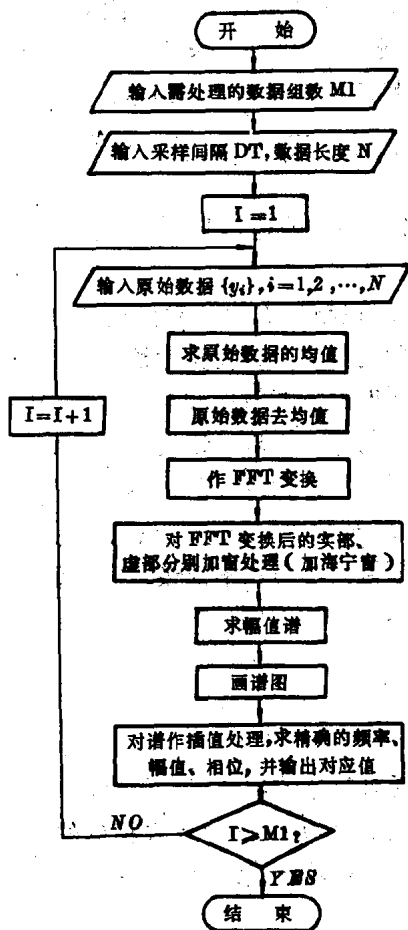


图 1-1 求信号的离散谱程序框图

则原始序列的离散傅里叶变换可直接从两个半序列的离散傅里叶变换求出:

$$X_k = \frac{1}{2} \{ \bar{Y}_k + e^{-j2\pi k/N} \bar{Z}_k \} \quad k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (1-3)$$

如果原序列 $\{x_i\}$ 中的样本数 N 是 2 的某一幂式, 那么半序列本身又可分成 $1/4$ 序列, 等等, 直到最后每个子序列只有一项为止。然后得原序列的幅值谱:

$$X(k) = \sqrt{X_k * X_k + X_k^* * X_k^*} / \frac{N}{2} \quad (1-4)$$

其中: X_k 为原序列的快速傅里叶变换, X_k^* 为 X_k 的复共轭。

式(1-4)表示在频率 k 上的频谱值。利用这种方法, 两个离散谱线之间的频率分量无法检测出来。为了减少用傅里叶率换计算频谱时的栅栏效应及泄漏, 本程序在普通的快速傅里叶变换算法的基础上作了改进。在对原序列进行快速傅里叶变换后作了加窗处理, 本程序加的为海宁窗(Hanning)。在此基础上对频谱作内插细化处理。本程序计算的频谱, 其幅值大小与频率都接近实际值。

图 1-1 为本程序的框图。

三. 使用说明

本程序包括对数据的预处理, 作快速傅里叶变换、对变换结果加窗处理、求幅值谱及计算精确的频率、幅值、相位, 程序可以对多组数据连续处理。各子程序的调用与哑元说明如下:

1. F1 子程序。对数据预处理, 作谱子程序。由主程序调用。

(1) 子程序语句

SUBROUTINE F1(N, Y, AI, DT, M1)

(2) 哑元说明

N——输入参数，整型量，输入的原始数据的个数。

$$N \leq 2^M, M \leq 10;$$

Y——输入、输出参数，维数为N的一维数组，输入为原始数据，输出为离散谱；在快速傅里叶变换中存放变换的实部；

AI——中间存贮单元，维数为N，存放快速傅里叶变换中的虚部；

DT——输入参数，原始数据的采样间隔；

M1——输入参数，整型量，输入数据的组数。

2. POWER 子程序。作快速傅里叶变换、加窗处理子程序，由 F1 子程序调用。

(1) 子程序语句

SUBROUTINE POWER(Y, AR, AI, N, U)

(2) 哑元说明

Y——输入、输出参数，输入为原始数据，输出为离散谱；

AR——中间存贮单元，存放快速傅里叶变换的实部；

AI——中间存贮单元，存放快速傅里叶变换的虚部；

N——同 F1 程序；

U——输入参数，实型量，数据放大倍数。

3. FFT 子程序。计算实输入序列 $\{y_i\}$, $i=0, 1, \dots, (N-1)$ 的快速傅里叶变换或逆变换子程序。由 POWER 子程序调用。

(1) 子程序语句

SUBROUTINE FFT(XC, XS, N, INV)

(2) 哑元说明

XC——输入、输出参数，输入为 $XC(i) = Y(i)$, $i = 0, 1, \dots, (N-1)$, 输出为经过快速傅里叶变换后的实部

XS——同 POWER 子程序中的 AI;

N——同 F1 子程序;

INV——输入代码, $INV=0$ 求快速傅里叶正变换, $INV=1$ 求快速傅里叶逆变换。

4. HANN 子程序。对 FFT 变换后的实部与虚部分别加窗处理子程序。由 POWER 子程序调用。

(1) 子程序语句

SUBROUTINE HANN(X, N)

(2) 哑元说明

X——输入、输出参数，输入为 FFT 变换的实部或虚部，输出为加窗处理后的值;

N——同 F1 子程序

5*. FIGI 子程序，画谱图、内插子程序，由 F1 子程序调用。

(1) 子程序语句

SUBROUTINE FIGI(N, X, DLF, AR, AI)

(2) 哑元说明

N——输出参数，幅值谱的点数，取原始数据长度的 $1/2$;

X——输出参数，离散幅值谱的值;

* 本软件中的绘图程序采用北京航空学院蓝天技术开发公司的图形库 BGS1. LIB. 以下同。需要的读者可找该单位或我室联系。

DLF——输出参数，画幅值谱图的频率间隔；

AR、AI 同 FFT 子程序。

6. DA 子程序，寻找谱峰最大值子程序，由 FIGI 子程序调用。

(1) 子程序语句

SUBROUTINE DA(N, S, P, IX)

(2) 哑元说明

N——同 FIGI 子程序；

S——输入参数，谱峰值；

P——中间存贮单元，一维数组。

IX——中间存贮单元，一维数组。

7. RFAP 子程序，内插、求幅值、频率、相位子程序，由 FIGI 子程序调用。

(1) 子程序语句

SUBROUTINE RFAP(Y2R, Y2I, Y4, Y5, Y6,
I, DLF, A, F, P)

(2) 哑元说明

Y2R——输入参数，快速傅里叶变换的实部；

Y2I——输入参数，快速傅里叶变换的虚部；

Y4——输入参数，I 点的谱峰值；

Y5——输入参数，I+1 点的谱峰值；

Y6——输入参数，I+2 点的谱峰值；

I——输入参数，整型量， $I = 1, 2, \dots, N/2$ ，N 为数据长度

DLF——输入参数，频率间隔；

A——输出参数，精确计算的幅值；

F——输出参数，精确计算的频率值

P——输出参数，精确计算的相位值。

四. 源程序

1: F1 子程序

```
SUBROUTINE F1(N, Y, AI, DT, M1)
  DIMENSION Y(1024), AI(1024), AR(1024)
  CHARACTER CH1 * 10, CH3 * 9, CH2, CH7 * 8
```

```
C -----
C  输入数据文件名:
C  -----
```

```
WRITE(*, '(2X, A\)' ) 'DATA FILE NAME?'
READ(*, '(A)' ) CH1
```

```
C -----
C  输入数据放大倍数:
C  -----
```

```
WRITE(*, '(2X, A\)' ) 'SCALE FACTOR ?'
READ(*, *) U
OPEN (3, FILE = CH1)
READ(3, *) (Y(I), I = 1, N)
CLOSE(3)
```

```
C -----
C  计算幅值谱
C  -----
```

```
CALL POWER(Y, AR, AI, N, U)
```

```
  j = n / 2
```

```
  DO 40 K = 1, J
```

```
    Y(K) = SQRT(y(k))
```

```
40  CONTINUE
```

$DLF = 1. / (DT * FLOAT(N))$

C

C

绘出频谱, 并显示主要峰值

C

CALL FIGI(J, Y, DLF, AR, AI)

RETURN

END

2: POWER 子程序

SUBROUTINE POWER(Y, AR, AI, N, U)

DIMENSION Y(1024),AI(1024),AR(1024)

C

C

去掉原始数据的平均值

C

SUM = 0.0

DO 6 I = 1, N

6

Y(I) = Y(I) * U

DO 7 I = 1, N

SUM = SUM + Y(I)

7

CONTINUE

SUM = SUM / FLOAT(N)

DO 20 I = 1, N

AR(I) = Y(I) - SUM

AI(I) = 0.0

20

CONTINUE

N2 = N / 2

C

C

作傅氏变换

C

CALL FFT(AR, AI, N, 0)