

对故障诊断系统“并发”故障症兆 提取方法的探讨*

关惠玲

(郑州工学院)

摘 要: 本文对故障诊断系统“并发”故障症兆提取的三种方法——特征频率法、历史分析信号法和特别参数识别法,以及这三种方法有机结合的模糊综合决策公式从理论和实用上进行了探讨,为故障诊断专家系统的“瓶颈”问题作了一些基础工作。

关键词: 故障诊断, 故障症兆提取, 模糊综合决策

中图分类号: O329

专家系统由于能集本领域众多专家的知识,迅速准确解决本领域实际问题,能保存知识等优点,故近期得到迅速发展。但目前研究出的专家系统都很“专”,应用领域很窄。如北京中国科学院研制的肝炎诊断专家系统,仅能诊断肝炎;华中理工大学研制的发动机专家诊断系统和哈工大研制的大型发电机组故障诊断专家系统都处于实验室阶段,还没有很好解决多故障(病)并发时症兆的提取问题,而这是专家系统走向推广应用的关键所在。

透平压缩机组结构复杂,运行速度高,实际运行状态多故障并发特性尤其典型。目前,对透平压缩机组运行状态监测的主要手段是检测其振动信号,诊断故障的主要依据也是根据振动信号。本文试图对透平压缩机组在多故障并发时,从振动信号中自动提取故障症兆上作一些探讨。

1 特征频率识别法

透平压缩机组发生某种故障时,其振动信号的谱图上,某一特定频率对应的幅值(或功率幅值)增大,这一特定频率就称为此种故障的特征频率。如转子不平衡发生时,在谱图上基频幅值增大,基频就成为不平衡故障的特征频率。因此,在多故障并发的谱图上通过识别特征频率可以把并发故障的信号谱图区分为各种故障。此法称为特征频率识别法。

应用特征频率识别法诊断故障需要满足两个条件:即诊断对象为线性系统;故障的特征频率不具有相似性。在客观世界中绝对线性事物是没有的,但在误差允许的范围内,一般是把工程上的问题均作为线性系统考虑。

特征频带的幅值量值与故障的对应关系不是非此即彼的对应关系,并且特征频率的频

* 收稿日期: 1993-08-10

带数与故障也非一一对应关系, 而上述两种关系均可用模糊概念来描述。

假设频带论域为 $F = \{1/4 \text{ 频频带}, 1/2 \text{ 倍频频带} \dots\} = \{fb_1, fb_2, \dots, fb_m\}$

故障论域为 $D = \{\text{不平衡}, \text{不对中} \dots\} = \{df_1, df_2, \dots, df_n\}$

假设单故障 A 在振动信号 $x_1(t)$ 付里叶变换 $X_1(f)$ 上的特征频率为可用论域 F 上的一个模糊向量描述为: $f_1 = (f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m})$, 单故障 B 在振动信号 $x_2(t)$ 付里叶变换 $X_2(f)$ 特征频率可用论域 F 上的一个模糊向量描述为: $f_2 = (f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m})$, 假设可得到几种单故障的特征频率模糊向量, 由这些向量可构成一个关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} & \dots & f_{n1} \\ f_{12} & f_{22} & \dots & f_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{1m} & f_{2m} & \dots & f_{nm} \end{bmatrix}$$

设并发故障的振动信号 $y(t)$ 的付里叶变换为 $Y(f)$, 其特征频率模糊向量为:

$$Yf = (y_1, y_2, \dots, y_m)$$

由模糊变换公式:

$$bs = yf \cdot R = (y_1, y_2, \dots, y_m) \cdot \begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} & \dots & f_{n1} \\ f_{12} & f_{22} & \dots & f_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{1m} & f_{2m} & \dots & f_{nm} \end{bmatrix} = (bs_1, bs_2, \dots, bs_n)$$

$bs = (bs_1, bs_2, \dots, bs_n)$ 即为特征频率的诊断结果, bs_i 对应第 i 种故障的隶属函数。

透平压缩机组特征频率具有相似性, 即有些故障特征频率相近或相同。如不对中與转子裂纹特征频率均为二倍频。特征频率法仍可以用。透平压缩机组故障表现形式的多样性可以弥补这一点。故障表现形式的多样性是指同一故障具有多种不同的表现形式。如不平衡故障有频谱、波形等表现形式, 特征频率相似的两种故障可用其他表现形式来区别。

2 历史分析信号法

机组并发故障的产生都有一个渐发过程。开始先发生一种故障, 机组带此故障运行一段时间后, 恶化了工作条件, 才引起另一种故障的产生。因此, 诊断故障时, 首先判断异常信号是由并发故障引起的, 然后向前追忆信号, 直到追忆判别出是单种故障信号时, 按单一故障诊断; 若诊断出故障 A, 继续向后追踪信号, 追踪得两种并发故障信号, 剔除 A 故障信号, 把剔除后剩余的信号作为单一故障信号处理。同时考虑故障 A 可能会恶化引发的故障。若诊断为故障 B, 继续向后追踪信号, 追踪三种故障并发信号时, 再从信号中分解剔除故障 A 和 B 信号。依次类推, 直到追踪到目前信号为止。

3 特别参数识别法

振动信号中的某些参数, 无论信号的具体形态如何改变, 但其特征总是明显地显示出

来。例如, 波形表示法中的削波现象。

图 1 中的两种波形相似程度很低, 但都可很清楚地看出有削波现象, 削波现象是径向摩擦故障的一个特征。若每一种故障都具有独特的不受具体形态影响的参数, 则可通过先检测出这些特征参数, 从多故障并发信号中区分出各种故障信号。

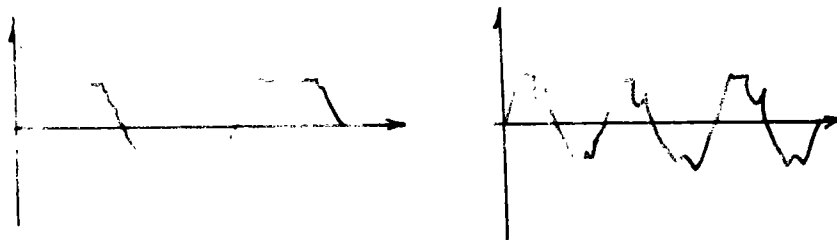


图 1

特别参数的量值与故障的对应关系, 不是非此即彼的关系, 特别参数的种类与故障的种类也非一一对应关系, 它们均可用模糊概念来描述。

假设特别参数论域为: $I = \{\text{削波, PP 值周期应变} \dots\} = \{S_1, S_2, \dots, S_j\}$, 故障论域如前所述, 假设单故障 A 的特别参数表现形式可用特别参数论域上的模糊向量

$is_1 = (is_{11}, is_{12}, \dots, is_{1i})$ 来描述;

是故障 B 的特别参数可用 I 论域上的模糊向量

$is_2 = (is_{21}, is_{22}, \dots, is_{2i})$ 来描述。

假设在论域 I 上可得到 j 个模糊向量, 由这些向量可构成一个关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} is_{11} & is_{21} & \dots & is_{j1} \\ is_{12} & is_{22} & \dots & is_{j2} \\ is_{1i} & is_{2i} & \dots & is_{ji} \end{bmatrix}$$

设实际测得并发故障的振动信号 I 论域上的模糊向量描述为: $sf = (sf_1, sf_2, \dots, sf_i)$

由模糊变换公式得:

$$bi = sf \cdot R = (sf_1, sf_2, \dots, sf_i) \cdot \begin{bmatrix} is_{11} & is_{21} & \dots & is_{j1} \\ is_{12} & is_{22} & \dots & is_{j2} \\ is_{1i} & is_{2i} & \dots & is_{ji} \end{bmatrix} = (bi_1, bi_2, \dots, bi_j)$$

bi 即为特别参数诊断结果。

4 各种方法的有机结合

由资料[1]可知: 故障诊断涉及的概念和原理, 用模糊数学描述更接近客观实际。基于模糊综合决策理论, 能有机结合特征频率法, 历史分析信号法, 特别参数法分别诊断得的结果。在此, 综合决策的三要素为:

- ① 因素集, 即方法集 M ;
 ② 决策集, 即故障集 D ;
 ③ 单因素决策, 即单一方法诊断的结果; bs — 特征频率法诊断结果; bh — 历史分析法诊断结果; bi — 特别参数法诊断结果。

由 bs 、 bh 、 bi 构成模糊关系矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} bs \\ bh \\ bi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} bs1 & bs2 & \cdots & bsn \\ bh1 & bh2 & \cdots & bhn \\ bi1 & bi2 & \cdots & bin \end{bmatrix}$$

权重集 C 的决定可由诊断实例解模糊关系矩阵而得。这种方法理论上可行, 实际上行不通, 因为模糊关系方程求解的结果可能无解或无空多解, 且模糊关系方程式求解工作量极大。另外一种方法由现场专家的经验定。 C 确定后, 由公式:

$$d = C \cdot R = \begin{bmatrix} cs1 & ch2 & ci1 \\ cs2 & ch2 & ci2 \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ csn & chn & cin \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} bs1 & bs2 & \cdots & bsn \\ bh1 & bh2 & \cdots & bhn \\ bi1 & bi2 & \cdots & bin \end{bmatrix} = (d1 \quad d2 \quad \cdots \quad dn) \quad (1)$$

$d1$ 、 $d2$ 、 \cdots 、 dn 分别代表每一种故障的可信度。

$$di = csi \times bsi + chi \times bhi + cii \times bii \quad (2)$$

公式(2)已经不是原来模糊数学上定义的综合决策的算法, 而是[1]中经改进后的算法。

5 诊断实例

如某大氮肥厂二氧化碳压缩机组由在线监测和诊断系统监测到 1991 年 10 月 12 号的信号功率谱如图 2、3 所示, 其中 234HZ 为基频。从图中可见, 190、2HZ 和 43.9HZ、117.1HZ 对应的能量值增大, 由特征频率法判断为并发故障。190.2HZ 和 43.9HZ 是旋转失速的特征频率, 117.1HZ 是油膜涡动的特征频率, 因此, 并发故障可诊断为旋转失速和油膜涡动。

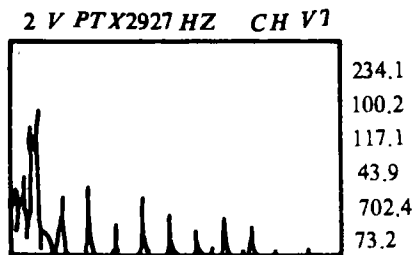


图 2

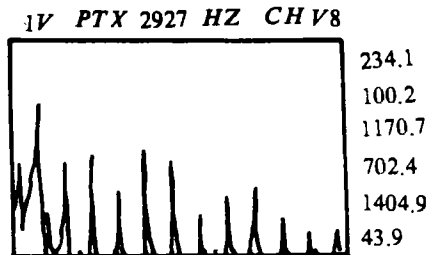


图 3

$$bs = [\cdots \quad 0.9 \quad \cdots \quad 0.7 \quad \cdots]$$

$$bh = [\cdots \quad \text{旋转失速} \cdots \text{油膜涡动}]$$

用历史信号分析法向前追踪信号, 追踪到 1991 年 10 月 1 号的信号功率谱为图 3 所

示。117.1HZ 特征频率不存在, 仅有点 190.2HZ 和 43.9HZ 特征频率, 仅有故障旋转失速。考虑到旋转失速会恶化轴承的工作条件, 很有可能引起油膜涡动, 再进一步诊断, 把油膜涡动的权重加大。用剔除法, 剔除旋转失速的信号, 得图 4。可见, 仅有 117.HZ 特征频率, 是油膜涡动得:

$$bh=[\dots 0.85 \dots 0.7]$$

$$bh=[\dots \text{旋转失速} \dots \text{油膜涡动} \dots]$$

在轴心轨迹图 5 上可看出, 无论轴心轨迹具体形态如何, 但有一个特征轴心轨迹的相位变动, 可显而易见, 这是油膜涡动的特别参数。得:

$$bi=[\dots 0.5 \dots]$$

$$bi=[\dots \text{油膜涡动} \dots]$$

Lissajous Disp'ay ch.H7
Ch.V7

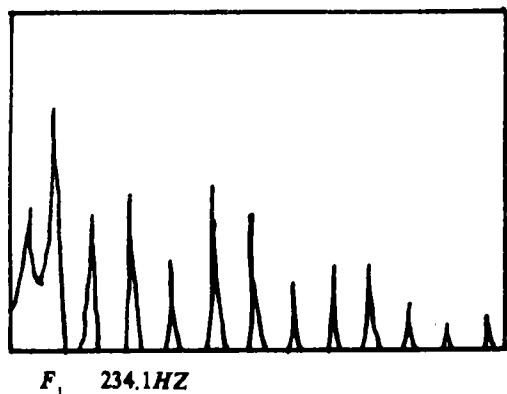


图 4

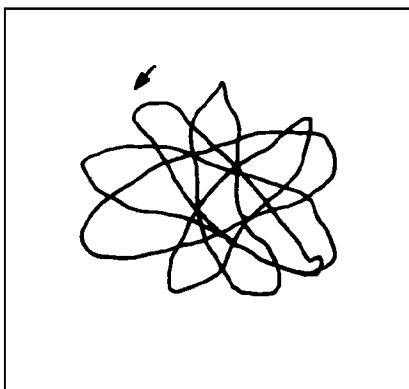


图 5

Fre9.
234
HZ

模糊综合决策中的权重 C 和关系矩阵 R 假设为:

$$C = \begin{bmatrix} \dots & & & \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & \\ \dots & & & \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & \\ \dots & & & \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} \dots & 0.9 & \dots & 0.7 & \dots \\ \dots & 0.8 & \dots & 0.7 & \dots \\ \dots & 0 & \dots & 0.5 & \dots \end{bmatrix}$$

$$d_{\text{旋}} = 0.6 \times 0.9 + 0.3 \times 0.8 + 0.1 \times 0 = 0.78$$

$$d_{\text{油}} = 0.4 \times 0.7 + 0.3 \times 0.7 + 0.1 \times 0.5 = 0.54$$

因此得结论: 并发故障为旋转失速 (可信度为 0.78) 和油膜涡动 (可信度为 0.54)。

6 结论

对透平压缩机组这样运行状态复杂、并发故障多的机组进行故障诊断时, 需把特征频率法、历史分析信号法和特别参数识别法有机地结合起来捕捉故障信号。有机结合的理论基础是模糊综合决策。这些方法尽管有理论基础, 但是否方便, 有待实际应用加以验证。

(下转第 87 页)

Basic Fatigue Curves of Butt Welded Joints in Two

Kinds of Structural Steel Plate

Du yunhai Ding suidung Han lianyuan Meng qingbe
(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: The fatigue test of the eight kind flat welding joints has been carried out with the in groups method, under pure bending load of cycling R-ratio 0.1, room temp. and atmospheric environment, to study their P-S-N curves. These joints are processed with the A₃ and 16Mn steel plate made in china, using CO₂ arc welding and union melt welding technology, as well as V groove and square-butt welding fashion. The results of this study can provide a reliable basis for the fatigue design and calculation of butt welding components.

Key words: fatigue butt welding joint, P-S-N Curve

(上接第 74 页)

参 考 文 献

- 1 汪培庄. 模糊集合论及其应用. 上海科学技术出版社.
- 2 关惠玲、张瑞林. 透平压缩机组故障诊断专家系统研究. 第三届全国机械设备故障诊断学术会议论文集.

Making a Research into the Method of Abstracting the Symptoms Used by Default Diagnosis System

Guan Huiling Zhang Ruilin
(Zhengzhou institute of Technology)

Abstract: This paper proposes three methods of abstracting symptoms, special frequency, historical analysis and special parameters, and the method of synthesizing three results above on fuzzy synthetics decision model. It makes a basis research into the "bottleneck" problem of diagnosis expert system.

Keywords: fault diagnosis, multi-symptom analysis of fault, fuzzy combined decision