

灰色系统理论在接触摩擦故障 诊断中的应用*

孙惠国

(郑州工学院振动工程研究所)

摘要: 旋转机械中的转子与静止件由于安装误差、润滑不良、转子质量不平衡、受热受压变形等原因而造成摩擦。摩擦故障在发生初期,其故障特征并不明显,给故障诊断带来很多困难。为保证机器长周期、满负荷优质运行,本文针对转子接触摩擦这一常见故障,利用灰色系统的基本原理与方法,以白化函数生成为基础,将灰类进行归纳判断聚类对象,达到诊断转子接触摩擦故障的目的。实例表明这一方法是有效的。

关键词: 摩擦故障, 灰色聚类, 灰诊断。

中国图书分类号: TH17

设备故障诊断是依赖获得的信息,通过多种参数判断设备运行状态的正常与否。而设备的正常状态与非正常状态之间往往并没有明确的界限,是“灰”的,“灰”介于“黑”与“白”之间。“黑”是指系统内部漆黑一片,内部的结构、状态、特征等一无所知,信息缺乏。与此相反,“白”是指系统内部结构、状态、特征等一清二楚,信息充足。“灰”或灰色系统就是系统内部的部分信息已知,部分信息未知,灰色系统理论就是研究信息不完全的对象,关系不明确的机制,内涵不确定的概念。

灰色系统理论或灰色分析方法自诞生至今,无论在理论研究,还是在应用研究上都取得了许多令人满意的成果,其应用领域已遍及医学、农业、金融、石油、水电能源、材料科学等许多方面。本文以灰色系统理论中灰数的白化函数生成为基础,将聚类对象不同聚类指标所拥有的白化数,按灰类进行归纳判断聚类对象的所属,即用灰色聚类方法对转子接触摩擦故障进行诊断。

* 收稿日期: 1992-05-13

1 灰色系统中的灰聚类方法

某个只知道大概的范围不知道其确切值的数为灰数,记为 \otimes 。属于某个区间的灰数 \otimes ,在该区间内取数时,也许每一个数的取数机会都是均等的,称为绝对灰数或纯灰数。也许对取数有“偏爱”,即机会不等,称为相对灰数。描述相对灰数“偏爱”程度的函数为白化函数,如图1所示。白化函数有如下特点:

- (1) 平顶部分表示该量的最佳程度,这部分值为最佳值,即系数(权)为1。
- (2) 白化函数是单调变化的,左边部分为单调增,称为白化的左支函数,记为 $L(x)$;右边为单调减,称为白化的右支函数,记为 $R(x)$ 。
- (3) 左、右支函数是否对称,这取决于取数的补充信息。
- (4) 整个白化函数并非由直线段所组成,可以为曲线。

一个白化函数 $f(x)$ 的生成值将是某一具体数值 x_i ,即 $f(x_i)x_i$ 为灰数 \otimes 的一个白化函数的生成值。以灰数的白化函数生成为基础,将聚类对象对于不同聚类指标所拥有的白化函数,按几个灰类进行归纳,以判断聚类对象属于哪一类,称为灰色聚类。

灰色聚类的具体步骤如下:

- (1) 给定聚类的白化数 d_{ij} ;
- (2) 确定灰类的白化函数;
- (3) 求标定聚类权;
- (4) 求聚类系数;
- (5) 构造聚类向量;
- (6) 聚类。

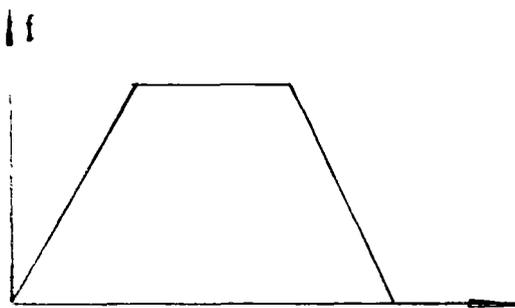


图 1

2 灰聚类诊断的试验研究

旋转机械中,转子与静止件之间的接触摩擦是常见故障之一。由于接触摩擦信号的复杂性,信号的频率成分相当丰富,既有与转子转速有关的频率成分,又有与结构频率有关的成分,加之有用的信号往往被噪声信号淹没,很难获得该故障的全部信息,因此,可根据灰色系统理论,对灰色摩擦故障进行灰色聚类诊断。

图2、3、4是通过多次试验获得的转子非接触摩擦(即正常状态)、轻度摩擦、严重摩擦三种状态的振动信号功率谱图。将三种状态的三种信号进行处理转化,每种状态各个频率的相对幅值为:

无接触摩擦的正常状态: $f_1=1, f_2=0.79, f_3=0.63, f_4=0.6, f_5=0.42, f_6=0.38,$
 $f_7=0.27, f_8=0.18;$

轻度摩擦状态: $f_1=0.95, f_2=0.75, f_3=0.54, f_4=0.68, f_5=0.49, f_6=0.46,$
 $f_7=0.24, f_8=0.16;$

严重摩擦状态: $f_1=0.8, f_2=0.66, f_3=0.44, f_4=0.72, f_5=0.61, f_6=0.57,$
 $f_7=0.31, f_8=0.16;$

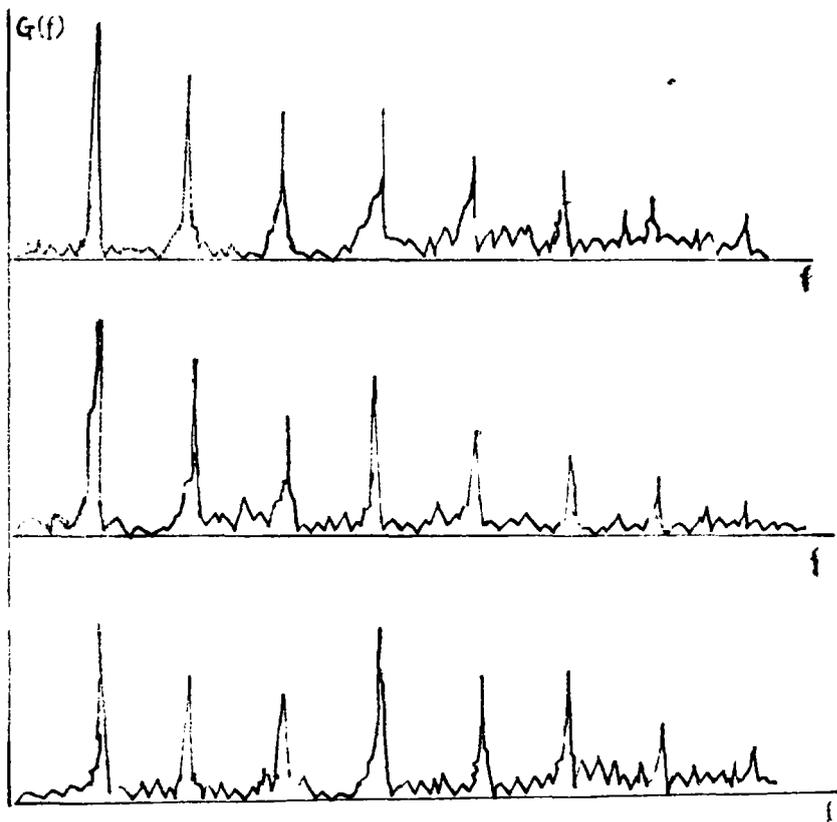


图 2~4

对上述数据利用灰色聚类方法对接触摩擦进行识别。

聚类对象: 转子系统

聚类指标: 转子三种状态各频率的幅值, 即 $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8$ 的幅值。

聚类灰数: 正常状态, 摩擦状态。根据信号处理结果, 确定聚类白化数($d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8$)。

求标定聚类权: $a = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8)^T$

$a = (0.2, 0.1143, 0.1714, 0.1143, 0.1714, 0.1714, 0.0571, 0)^T$

确定灰类白化函数: 这里将同一聚类指标对正常状态和摩擦状态两种灰类的白化函数放在一起, 负值越大表明属于正常状态的可能性越大, 正值越大表明属于摩擦状态的可能性越大。

求聚类系数:
$$\sigma = \sum_{k=1}^7 f_k(d_k) a_k$$

聚类诊断:

① 若 $\sigma < 0$, 则属于非接触摩擦状态, 其中

$-1 < \sigma < -0.8$ 为最佳状态;

$-0.8 < \sigma < 0$ 为一般状态。

② 若 $\sigma > 0$, 则属于接触摩擦状态, 其中

$0 < \sigma < 0.8$ 为轻度摩擦状态;

$0.8 < \sigma < 1$ 为严重摩擦状态.

3 诊断实例

某透平压缩机组运行一段时间后, 高压缸的振值逐渐增大, 工作转速波动, 高压缸自由端的振值达 2mil. 经检测, 处理该机组自由端振动信号的功率谱图如图 5 所示.

依据上述灰色聚类分析方法, 将高压缸自由端振动信号功率谱各阶频率值经处理转化后, 各频率的相对幅值分别为: $0.89/f_1$, $0.68/f_2$, $0.5/f_3$, $0.74/f_4$, $0.51/f_5$, $0.41/f_6$, $0.31/f_7$, 相应的白化函数为:

$$f_1(0.89) = 1 - \frac{20}{3}(x - 0.8) = 0.4 \quad f_2(0.68) = 1 - \frac{100}{9}(0.68 - 0.66) = 0.7778$$

$$f_3(0.5) = 1 - 10(0.5 - 0.44) = 0.4 \quad f_4(0.72) = \frac{1}{25}(0.72 - 0.68) = 0.0008$$

$$f_5(0.51) = \frac{25}{3}(0.51 - 0.49) = 0.1667 \quad f_6(0.41) = \frac{25}{2}(0.4 - 0.38) = 0.25$$

$$f_7(0.31) = 25(0.31 - 0.27) = 1$$

求聚类系数, σ 为

$$\sigma = 0.4 \times 0.2 + 0.778 \times 0.1143 + 0.4 \times 0.1714 + 0.008 \times 0.1143 + 0.1667 \times 0.1714 + 0.25 \times 0.1714 + 1 \times 0.0571 = 0.3576$$

由 $\sigma = 0.3576$ 可以认为该机组高压缸异常振动的原因是由于转子与静止件之间发生接触摩擦, 但尚未达到严重摩擦的失稳状态.

这种诊断意见和采用其它方法诊断结论是相一致的. 机组停机后发现:

- (1) 气封板局部有摩擦烧伤的沟痕.
- (2) 高压缸自由端的止推轴承局部因摩擦有磨损痕迹.

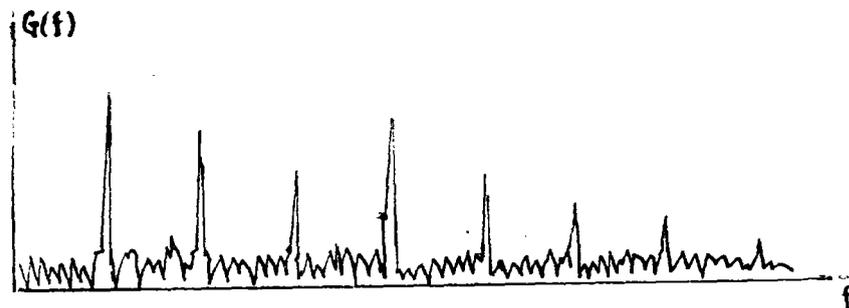


图 5

4 结束语

4.1 用灰色系统理论中的聚类法诊断转子系统接触摩擦故障, 和采用其它诊断方法的结果是一致的, 因此灰色聚类分析为正确诊断转子系统动静件接触摩擦提供了一种行之有效的方法。

4.2 由于机械设备故障与正常之间是灰现象, 所以灰色诊断不仅仅适用于转子系统动静件之间接触摩擦故障, 而且适用于机械设备的其它故障的诊断。

4.3 灰色聚类分析中的白化函数考虑了指标不明确, 信息不完全的情况, 这表明灰色聚类诊断具有更大的适用性, 信息利用更充分。

4.4 灰色聚类诊断方法具有计算简便, 准确度高, 便于于现场人员掌握等优点。

参 考 文 献

- (1) 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 华中理工大学出版社. 1988
- (2) 邓聚龙. 灰色系统论文集. 华中理工大学出版社. 1989
- (3) 孙惠国. 机械故障的灰色诊断方法. 郑州工学院. 1990
- (4) 许树柏. 层次分析法原理. 天津大学出版社

The Application of Grey System Theory in Fault Diagnosis of Contact Rubbing

Sun Huiguo

(Vibration Research Center, Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: In rotating machinery, the rotor often rubs against static parts because of the installing error, poor vibration, mass unbalance, thermal and pressed deformation, and so on. In the earlier stage of the rubbing fault, with the influence of other factors, the fault feature is not evident, causing many difficulties to diagnose. To ensure the machine to work well long time and full loaded, using the fundamental principle and method of grey systems and based on the generation of albino functions, this paper induces and appreciaies the grey class as cluster objects, reaching the goal of diagnosing the contact rubbing fault. Real enamples prove that the method is effective.