

机 器 的 故 障 诊 断

侯温良

(中国科学院东海研究站)

对任何一台机器,如果能及时地发现和诊断出它的故障,对于防止意外事故,保证所生产的产品质量有着现实意义。大家知道,有经验的工人或技术人员可以凭耳朵的听觉或手等直接触觉对振动的感受来判断机器是否有故障甚至判断出故障在哪里。

但是,人们终究希望能找到借助于某种仪器来诊断机器故障的方法。

一、谱频谱方法

Sapy, G. 利用谱频谱分析检测了涡轮机中叶片的故障^[1], Randall R. B. 利用谱频谱分析了卡车齿轮箱里齿轮的故障^[2]。

什么叫谱频谱?谱频谱英文为 Cepstrum,它是英文频谱 Spectrum 一词的倒写,首先于1963年由 Bogert, B. P. 提出来^[3],当时他将谱频谱定义为“对数功率谱的功率谱。”

我们知道,所谓功率谱,可以表示为

$$F_{xx}(f) = |F\{f_x(t)\}|^2$$

这里 $F\{\}$ 表示傅立叶变换, $f_x(t)$ 是某个时间信号。于是根据谱频谱定义,谱频谱可以表

示为

$$C(\tau) = |F\{\log F_{xx}(f)\}|^2$$

对于频谱分析一般都比较熟悉了。如果频谱中存在某一频率成分(例如1千赫)这表示相应的时间信号中存在一个每秒振动1千次的周期性变化的分量。因此,所谓谱频谱分析也就是检测频谱的周期性变化。

图1是 Randall 对卡车齿轮箱振动噪声的分析结果。图的左边是振动噪声的频谱,上面的曲线是有故障时的频谱,下面是正常状态下的频谱。二者相比可以看到当齿轮箱出现故障时它振动噪声的频谱中出现明显的周期性(间隔大约为10赫左右)。图的右边是与之相对应的谱频谱图。齿轮箱有故障时,它的谱频谱图上出现明显的线状谱频谱(95.9毫秒,它与10.4赫相对应)。而正常状态的谱频谱图中则没有线谱。

二、谱相关方法

我们在对某机器轴承的振动噪声的分析中提出了一种称为谱相关的方法^[4]。

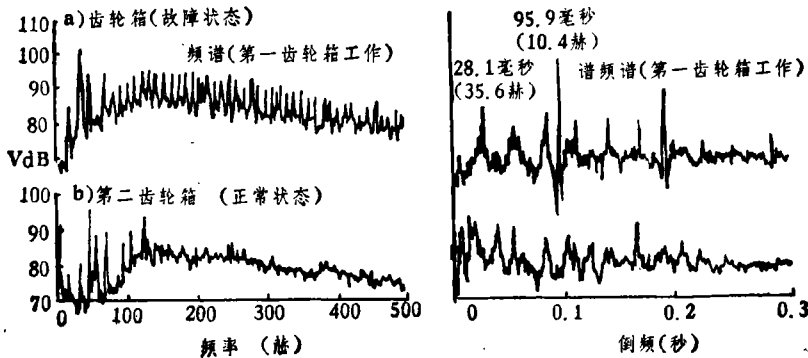


图1 处于正常状态和故障状态的卡车齿轮箱的频谱和谱频谱

相关处理对于时间信号已经被广泛运用。它是作这样的运算。

$$r(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} S_1(t)S_2(t-\tau)dt}{\left[\int_{t_1}^{t_2} S_1^2(t)dt \int_{t_1}^{t_2} S_2^2(t)dt \right]^{1/2}}$$

$r(\tau)$ 称为 $S_1(t)$, $S_2(t)$ 之间的互相关系数。 $r(\tau)$ 的大小反映了信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$ 之间的相似程度。与此类似我们定义谱相关为“对数功率谱之间的相关”。

如果我们对某机器进行振动测量所得到的振动噪声为 $n_x(t)$, 它的对数功率谱为

$$N_{xx}(f) = \log |F\{n_x(t)\}|^2$$

根据定义谱相关系数为

$$r_f(0) = \frac{\int_{f_1}^{f_2} N_{xx}(f)N_{yy}(f) df}{\left[\int_{f_1}^{f_2} N_{xx}^2(f) df \int_{f_1}^{f_2} N_{yy}^2(f) df \right]^{1/2}}$$

与时间信号的相关系数一样, 谱相关系数的大小实质上是反映了振动噪声谱之间的相似程度。

对于某一台机器只要它工作于稳定状态, 不管它是否存在故障, 它的功率谱随着平均次数的增加变得比较稳定。图 2 是两种条件下的功率谱, 上面是经过 64 次平均的对数功率谱, 下面是经过 8 次平均的对数功率谱。由图可见, 经过多次平均以后谱的形状非常相象。但是正常状态和出现故障后的谱的形状是不同的。如图 3 所示, 上面是正常状态的对数功率谱, 下面是故障以后的对数功率谱。这种谱结构的差异必然也反映在谱相关系数的不同上。

我们先将机器正常工作时的振动噪声通过加速度计转换为电信号, 经过 A/D 变换在实时频谱分析仪中进行快速傅立叶变换, 得到对数功率谱经过若干次平均, 再经过接口送到微计算机放入内存。然后再分别将该机器正常状态和故障状态的振动噪声也经过快速傅立叶变换, 得到对数功率谱经过若干次平均后送入微计算机和内存中存放的正常状态的样本进行谱相关运算。结果, 正常状态

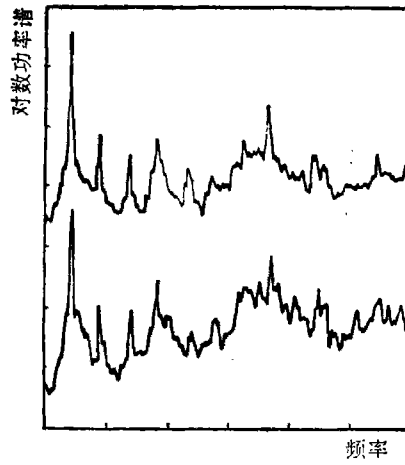


图 2

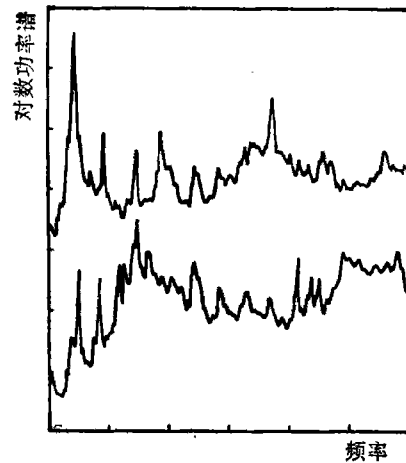


图 3

对正常状态的谱相关系数大于0.9。而故障对正常状态的谱相关系数为0.1左右。根据谱相关系数的大小微计算机立即自动判断机器是否有故障。

此外, 我们还在微计算机内存中存放了两个不同轴承的故障样本。当故障出在其中某一轴承上时, 所得到的谱相关系数也为0.9左右。但对另一轴承的谱相关系数则明显地小(约为0.6左右)。可是比正常状态的谱相关系数还是小。

这样, 只要我们在微计算机的内存中存放正常状态的振动噪声的功率谱以及一系列

(下转第 33 页)

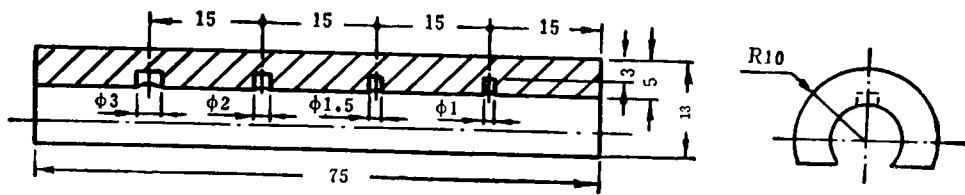


图8 平底孔比较试块

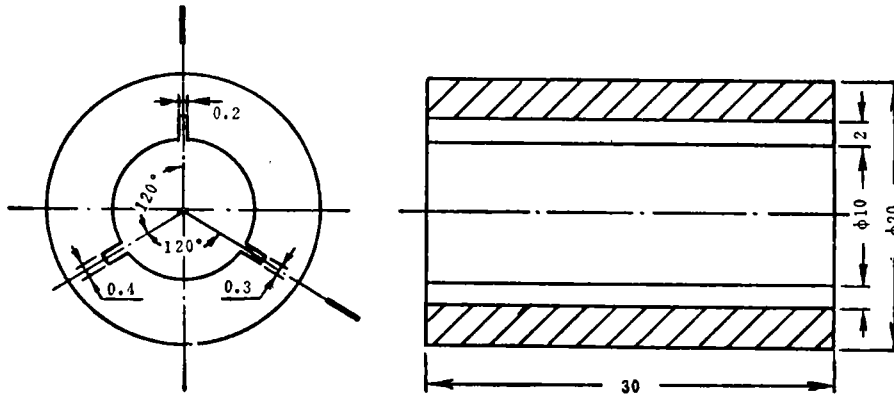


图9 槽形比较试块

18°探头灵敏度最低，仅能发现 $\phi 3$ 毫米平底孔当量。实际使用时可根据被探工件的检测要求，选择不同类型的比较试块，来确定探伤起始灵敏度。

七、探头的应用

我们用晶片倾斜角 30° 的小型曲面分割式双探头对模拟试件进行探测，用 $\phi 1$ 毫米平底孔当量作为起始灵敏度，对探测结果作了详细记录，并根据测试情况，有的放矢解剖71只试样，其中51只是横向截面，20只是

纵向截面。解剖结果，缺陷情况与探测结果基本相符，纵向缺陷有基本贯穿长达9~10毫米的未焊透，横向缺陷有 $4/5$ 圆周的焊缝面未焊透的大缺陷，也有横向仅0.2毫米的小气孔缺陷。

通过上述试验，可以认为小型曲面分割式双探头对于发现套筒式钎焊缝的缺陷有较高灵敏度。此探头也适用于其他大曲率、小直径的工件近表面缺陷的检验，特别是检验与探测面等截面的近表面部位缺陷更合适。由于试验做得不够全面，可能有些提法欠妥。

(上接第35页)

常见的已知原因的故障样本就能根据谱相关系数的大小来判断是否故障及故障原因。也可以根据需要，一旦机器出现故障，微计算机立即报警或切断电源，以便及时进行修理。这样的谱相关方法适用于对机器作故障监视或巡回检测。特别是对于某些人不能接近的机器更有其优越性。

参考文献

- [1] Sapy, G., Automatismes-Tome xx, No.10, pp.392-399, October 1975.
- [2] Randall, R. B., B & K Technical Review, No.3, 1981.
- [3] Bogert, B. P., In Proceedings of Symposium on Time Series Analysis by Rosenblatt, M., (Ed.), Wiley, N. Y. 1963. pp.209-243.
- [4] 侯温良, «从振动噪声判别机器故障——谱相关法», 声学学报(英文版), 1983年第1期。