磁盘轴向偏摆信号的计算机处理

宁静娴、朱进生、付仙罗

中国科学院力学研究所

摘要 本文讨论了磁盘轴向偏摆信号处理的原则和方法，阐述了高速A/D接口設计原则。在多次采样的前提下，对所测信号进行了加权滤波和FFT分析，設计了数据采集，数据处理及绘图程序，得到了磁盘轴向偏摆的位移曲线，速度曲线及加速度曲线，为磁盘轴向偏摆信号的计算机处理提供了一套完整的方法。

一、引 言

磁盘机是现代高速，大容量计算机的主要外部设备之一。计算机系统及用户的大量文件、信息都分别存放在各磁盘上，构成盘组。盘组围绕安装轴作高速旋转，通过浮动在磁盘上的磁头从磁盘获取信息与主机进行数据信息的交换，完成计算机的读写操作。磁盘表面加工的不平度，磁盘与转轴安装的垂直度，电机转速的不恒定等因素都直接影响磁盘与主机的信息交换。因此，磁盘机轴向偏摆信号综合反映了磁盘机在运行中的动态状态，是考核磁盘机性能的重要参数之一。在国际标准中，对磁盘轴向偏摆大小，偏摆速度，加速度作了严格的规定[1]。

磁盘轴向偏摆测试仪通过电容探头从磁盘上拾取了有关盘片运行中动态状况的信息，它是一条复杂的，周期性的曲线，称为偏摆曲线。从信息论的角度讲，信号处理的目的是尽可能复制原始的偏摆曲线，求出偏摆速度，加速度，以便从中最大限度地提取有用信息。

二、信号处理的原则与方法

磁盘机轴向偏摆作为原始信号，它是微弱的振动信号迭加了随机噪声的结果。所以，信号处理的任务，不仅是微弱信号的检测问题，同时也必须抑制噪声，大大提高信噪比。

从磁盘偏摆测试仪得到的信号是偏摆位移随时间变化的模拟曲线。通过示波器照相的方法可以保存原始信息。但这样得到的结果，对信息处理来说，存在很大的困难。这首先是因为，在磁盘机转速恒定时，位移变化曲线的周期是与转速同步的。对转速为3600转/分的磁盘机，位移变化曲线的周期为60Hz，相关示波器的扫描速度来说，是一慢变化过程。为了得到稳定的位移变化曲线的波形，示波器的扫描频率不能太高。而另一方面，偏摆位移变化曲线又是一含有各种频率分量的复杂的周期性变化曲线，用示波器照相的方法，会把高频分量丢失掉。而且，欲想直接从位移曲线求导数得到偏摆的速度和加速度，也几乎是不可能的。

微机应用技术的发展，给数据处理带来了新的前景。这不仅是能把所需信息迅速存贮起来，而且可以对实验结果进行实时处

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

理，不但处理速度快，而且可以大大提高处理精度，重复性好，处理灵活，方便。

信号处理碰到的第一个问题是模拟量到数字量的转化问题。如何用一离散的时间序列：$x_1(t)$，$x_2(t)$，…$x_n(t)$去逼近一个连续的时间变量$x(t)$，在信息论中称为对连续信号的采样。其方法是：按一定的时间间隔Δ取信号值，称为信号的量化。Δ称为采样间隔，它是对信号在时间上的分割。对量化的信号还要进行能量上的分割，即将某一时刻的模拟值量化为数字值，称为分层。从理论上讲，采样与分层的间隔越小，越能逼近真实的模拟曲线。但在物理器件的实现上，采样与分层的间隔是有一定限度的，不可能做得无限小。量化的问题涉及到A/D变换的采样时间，而分层的问题涉及到A/D变换的变换精度，而这两者又是矛盾的。它由器件总的增益和带宽的乘积决定。所以，选择合适的采样时间，变换精度和信号动态范围的分配是设计高速A/D接口的原则。

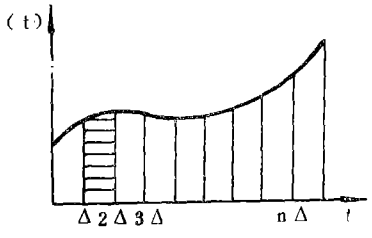

图 1　信号的采样与分层

对噪声的处理方法是：

重复采样：由于迭加在位移曲线上的随机噪声，可以认为是白噪声。白噪声有一个极其重要的统计特性，即其统计平均值为零。设N(t)为随机噪声的一个样本，当对n(t)进行等间隔采样时，其离散信号的平均值

$$\overline{n_k}=\lim_{n\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N}n_R=0 \qquad (1)$$

只要N足够大，$\overline{n_R}$便接近于零，大大消弱了噪声。实验中采用光电触发方式，获取采样的同步信号，可以对盘片上的任一圆周，重复采样N个周期，所得偏摆曲线消除了大部分白噪声。

3．信号平滑与滤波：在实验的初期，我们对偏摆信号进行了简单的平滑处理。简单平均平滑方法的公式为：

$$y(t)=\frac{1}{2N+1}\sum_{N=-N}^{N}x(t-n) \qquad (2)$$

当N＝2时，就是五点简单平滑。这种简单平滑方法，不但消除了噪声，而且对信号的变化部分也进行了平滑，因而丢失了信号中的有效部分。

能克服上述缺点的平滑处理方法是加权滤波。它是一种最佳滤波，因为它是按照最小平方准则来设计的，因而可以增强信号中所需要的信息部分，压制信号中不需要的部分，有效地提高信噪比。它的特点是引进了加权系数，在信号范围内的不同时刻，加权系数是不同的。

加权滤波的方法可以从硬件上实现，也可以从软件上实现。从硬件上实现，可以根据加权系数，综合一种有源四端网络，称之为加权滤波器，原始信号经过加权滤波后，削减了噪声，放大了信号，从而有效地提高了信噪比。

三、信号分析

一般地说，对信号的分析可以从两个方面进行。一方面可以作时间域上的分析，另一方面可作频率域上的分析。时间域上的分析，典型的方法是对信号作相关分析。根据自相关函数Rx(t)的定义，对时间序列x(t)，它的自相关函数为：

$$R_x(\tau)=\lim_{\tau\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x(t)x(t+c)\,dt \qquad (3)$$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

T为样本记录长度，τ为时间滞后量。即对同一振动，比较前后两个不同时刻的波形相似性，以分析影响盘片振动的因素，了解盘片振动的性质。

根据互相关函数Rxy（τ）的定义：

$$R_{xy}(\tau)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \qquad (4)$$

对不同时刻采样的两个时间序列x（t），y（t）作互相关分析，判别它们的相似性，可以获取定位面及机座对盘片振动影响的信息。

在频率域作信号分析的一般方法是作信号的频谱分析，以观察盘片振动的频率结构。自从快速富氏变换（FFT）出现以后，用FFT对信号进行分析与处理已成为离散信号数字处理的一个重要内容。

由频谱分析可知，对一个离散信号x（nΔ），其中Δ为采样间隔，若在有限范围之外全为零，即x（nΔ）满足

$$x(n\Delta)=\begin{cases}0 & n<N_1\\ x(\eta\Delta) & N_1<n<N_2\\ 0 & N>N_2\end{cases} \qquad (5)$$

它的频谱为：

$$x(f)=\sum_{n=N_1}^{N_2}x(n\Delta)e^{-j2\pi n\Delta f} \qquad (6)$$

是以$\frac{1}{\Delta}$为周期的函数。

由于在PS-85微机上有现成的数据分析子程序库，只要链入合适的起始地址，就可以直接由BASIC程序加以调用。函数点数最多可达2048点，处理时间约2分钟。分析的基本频率是：

$$f=\frac{1}{Q_5(Q_2-1)} \qquad (7)$$

其中，$Q_2=2^{Q_1}$，$Q_2\leqslant 2048$，Q_5为采样的时间间隔。我们对从磁盘轴向偏摆测试仪取得的模拟信号以$Q_5=100\mu s$的时间间隔采样，将信号离散后，作其FFT变换，得出其有限富里叶变换的实P及虚P系数。

$$\begin{cases}A_k=\frac{2}{N}\sum_{j=0}^{N-1}x_j\cos\frac{2\pi kj}{N}, & k=0,1,2,\cdots\frac{N}{2}\\ B_k=\frac{2}{N}\sum_{j=0}^{N-1}x_j\sin\frac{2\pi kj}{N}, & k=1,2,\cdots\frac{N}{2}-1\end{cases} \qquad (8)$$

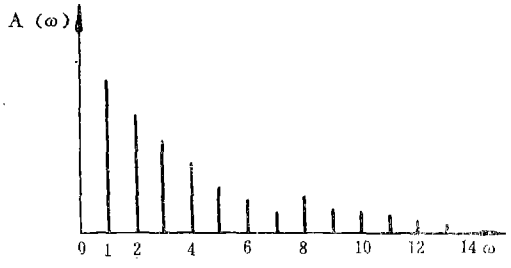

图2　典型的振幅谱

典型的振幅谱如图2，具有离散，谐张、收敛的特点。最大振幅值出现在基频W。附近。说明盘片的振动主要来源于主轴部件的振动。这与理论分析是一致的。

四、软件设计

软件设计包括：数据采集、数据处理，绘图及坐标子程序四部分。程序框图如图3：

对A/D变换，要设定A/D变换子程序入口地址及存储保护区，以保护所采集的数据不被破坏。另外，要进行通道号，数据大小及采样频率的校验，采样频率高于A/D变换所规定的上限时，不能进行A/D变换　要进行重新设定。数据处理子程序，应根据需要调用，可随时中断。数据处理结束，计算机控制转向绘图程序。反复调用绘图程序，

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

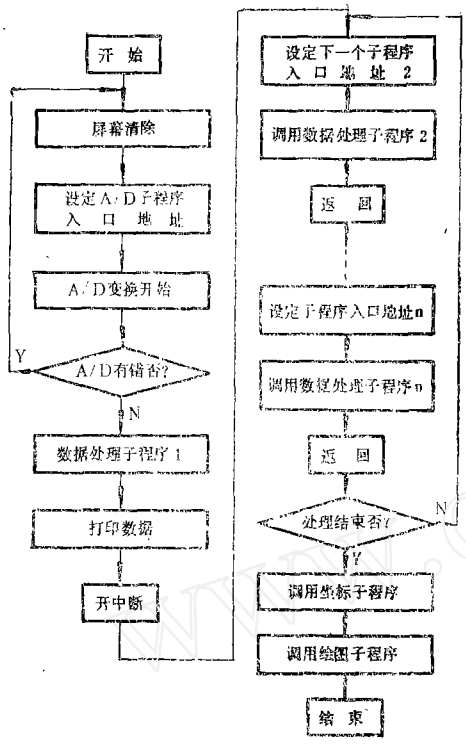

图3 主程序框图

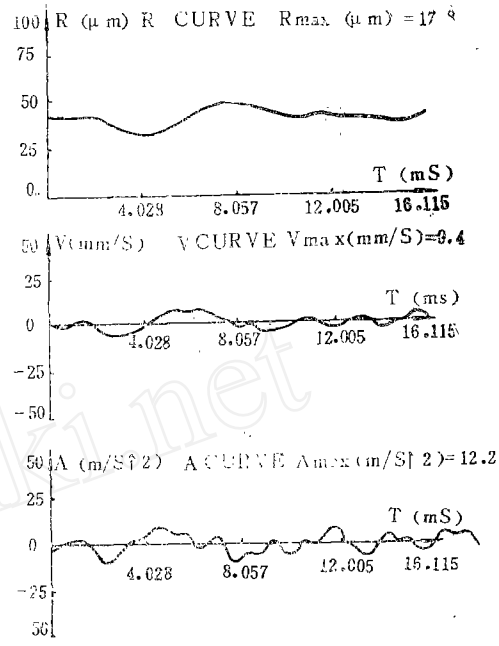

图4 磁盘轴向偏摆、速度、加速度曲线

可以在同一张图纸上绘制不同区段的曲线，进行分析、比较、得出磁盘不同径向位置的偏摆位移、速度、加速度曲线及位移、速度、加速度的最大值。见图4。

五、结束语

随着微机及软件技术的发展，将磁盘轴向偏摆信号输入到微机进行处理，比传统的示张器存储照相的方法有明显的优越性。它不仅速度快，精度高，重复性好，而且能长期保存大量信息供脱机分析处理，因而可推广至各种随机过程的瞬态测量中，是一种方便，可靠的手段。

参考文献

〔1〕ISO, ISO/DIS 6901, International Organization for Standardization, (1982)

〔2〕程乾生编著，信号数字处理的数字原理，石油工业出版社，(1979)。

〔3〕王正克等编，数据采集与处理，国防工业出版社，(1985)。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net