

基于频谱分析的天文望远镜跟踪实验系统故障诊断*

何秋会 李国平

(中国科学院 国家天文台南京天文光学技术研究所, 南京 210042)

摘要 把现代信号处理技术的谱分析应用到天文望远镜的故障分析上, 对大天区面积多目标光纤光谱望远镜摩擦驱动实验装置的振动故障进行了诊断实验研究, 基于频谱分析了摩擦驱动实验装置的振动信号。实验结果表明, 频谱分析能很好地提取振动信号的频率特征, 判断出振动源, 是天文望远镜故障源识别的有效工具, 对天文望远镜振动故障诊断有很好的应用价值和前景。

关键词: 天文望远镜跟踪系统, 振动, 谱分析, 故障诊断

中图分类号: TH132.2+1 **文献标识码**: A

0 引言

天文望远镜跟踪系统是天文望远镜重要部分, 它的运行性能直接影响到望远镜的正常观测和观测精度。因此, 天文望远镜对跟踪系统的误差来源分析、运行状态检测和故障诊断有着十分重要的现实意义。运用故障诊断技术研究天文望远镜跟踪系统故障的性质, 分析误差来源, 首先要获得天文望远镜跟踪系统运行状态的诊断信息。获得诊断信息的方法有很多种, 如直接观察、振动检测、位置检测、速度检测、磨损检测和运行性能监测等^[1]。对天文望远镜跟踪系统而言, 除位置检测、速度检测之外, 振动检测也是重要的方法之一。本文由实验获得大天区面积多目标光纤光谱望远镜 LAMOST 的摩擦驱动试验装置的振动信号, 提取出振动的频率特征, 分析出摩擦驱动实验系统的振动源。

1 望远镜跟踪系统响应和信号处理^[2-4]

1.1 系统响应分析

天文望远镜跟踪系统主要由轴系、驱动系统、减速系统、测角系统等机电系统组成, 因此, 跟踪系统的运行由机电系统多种因素决定, 跟踪系统的运行位置是多因素决定的多元函数:

$$= F(x, y, \dots, u, \dots) \quad (1)$$

当系统结构不完善时, 必然有一定的误差, 从而引起整个跟踪系统的运行误差, 即:

$$d = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy + \dots + \frac{\partial F}{\partial u} du + \dots + R \quad (2)$$

各独立分量的叠加就是系统的总误差。为了提高系统精度, 必须分析每一分量对总量的影响。采集天文望远镜跟踪系统振动信号, 进行信号处理, 把采集的信号变换到频率域, 分离出不同的谐波分量, 找出误差的来源, 以便分别消除。

1.2 功率谱分析

假设 $x(t)$ 是各态历经的平稳随机过程的样本函数, 经采样后, 获得离散时间序列 $x(k)$, $k = 1, 2, \dots, N - 1$, N 为一个离散序列的采样点数。

离散时间序列的 DFT 为:

$$X(k) = \sum_{i=1}^{N-1} x(i) \exp(-j2\pi ki/N) \quad (k=0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (3)$$

直接傅立叶变换计算功率谱密度为:

$$G_x(k) = \frac{1}{N} X(k) X^*(k) = \frac{1}{N} |X(k)|^2 \quad (k=0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (4)$$

为了对振动信号功率谱估计有较高的置信度, 对采集的数据进行了多次平均。线性平均为:

$$A_N(f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i(f) \quad (5)$$

为了得出中间的平均结果, 一般采用递推格式:

$$A(f) = A_{N-1}(f) + (G_N(f) - A_{N-1}(f)) / N \quad (6)$$

功率谱分析提取信号的频域特征, 依据能量在不同频率上的情况来判断系统的状态, 功率谱图反映了系统的状态信息。据没有故障就没有谱线的理论, 在谱线对应的频率处, 就存在着振动, 相应有一个故障存在。所以把功率谱图与系统中的元件和机构参数联系起来, 找出系统存在的故障。

* 国家“九五”重大科学工程项目

收稿日期: 2003-07-06

第一作者 何秋会 女, 硕士生, 1977年8月生

2 振动测试和数据分析

2.1 测试装置、仪器和测试过程

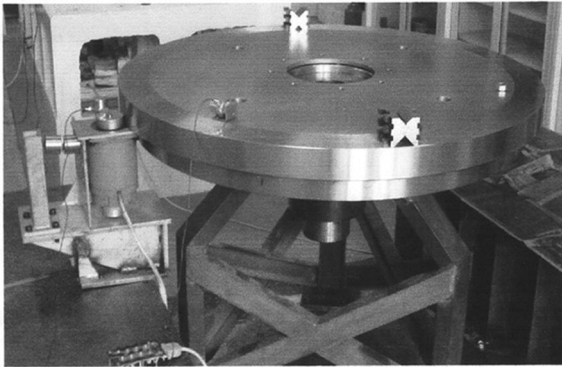


图 1 实验装置图

实验装置如图 1 所示。测试的目的是拾取摩擦盘和电机的振动信号。实验时,采用加速度传感器,采集大摩擦盘的切向振动加速度,由此矢量来全面反映大摩擦盘的振动状态。传感器安装在电机上,以获得电机的振动信号。

实验过程及仪器如图 2 所示。动态信号采集分析系统由 CRAS 数据采集器 QL-108、采集分析软件 CRAS 和计算机组成。振动信号由 CA-YD-109 加速度传感器和 AZ802A 电荷放大器采集。

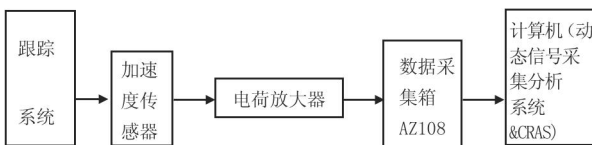


图 2 跟踪系统振动测试系统组成

2.2 振动、功率谱分析

在本实验中,实验装置的步进电机共有四档速度,档为 7.5kHz,转速为 23.4375r/min,档为 5.8kHz,转速为 18.125r/min,档为 3.0kHz,转速为 9.375r/min,档为 1.5kHz,转速 4.6875r/min,每档速度又分为正、反向。用加速度传感器采集大摩擦盘运动时的信号,然后将小摩擦轮和大摩擦盘分离再传感器采集电机的振动信号,分别进行频谱分析,发现异常频率,找出异常频率的来源。

实验采集振动信号时分析频率为 20Hz,采样频率为 51.2Hz,采集声数为 8 块,每块采集点数位 1024,使用 hanning 窗对数据进行截断。实验时,在四种速度下采集大摩擦盘和电机的振动加速度信号,处理后得到四种速度下各自的振动的功率谱图(图 3~图 6

和图 7~图 10)。

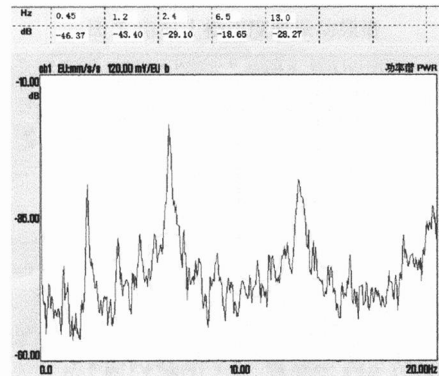


图 3 大摩擦盘在 档速度时振动频谱

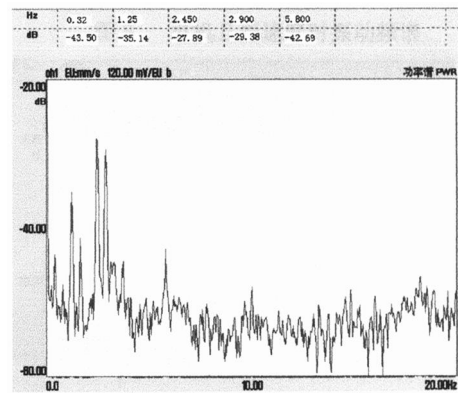


图 4 大摩擦盘在 档速度时振动频谱

在图 3~图 6 所示的大摩擦盘振动功率谱图上,可以发现每档速度下公有的频率为 1.2Hz, 2.4Hz, 但每档速度下也都有各自特有的频率,档有 0.4Hz, 6.5Hz, 13.0Hz, 档有 0.3Hz, 2.900Hz, 5.800Hz, 档有 12.5Hz, 档有 8.55Hz。由此可知,大摩擦盘的振动主要集中在几个主要的频率上,特有频率随驱动速度不同而随之变化,这说明大摩擦盘的部分振动与驱动速度有关,同时,1.2Hz, 2.4Hz 频率的存在,说明这可能是系统结构的固有频率或其他原因造成的。

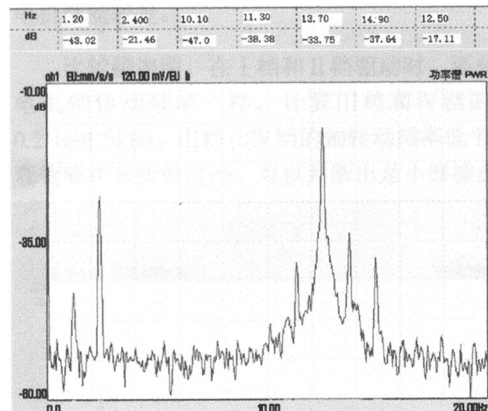


图 5 大摩擦盘在 档速度时振动频谱

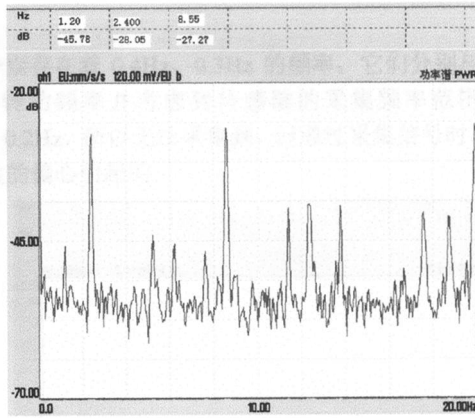


图 6 大摩擦盘在 档速度时振动频谱

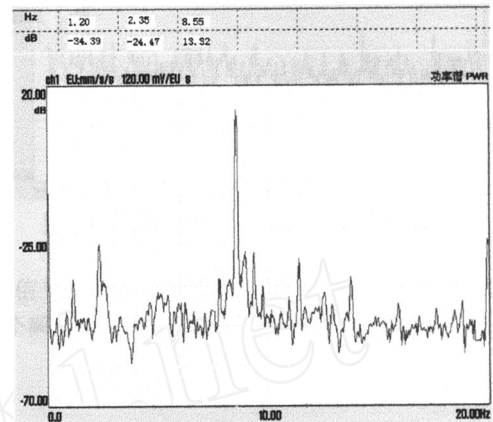


图 10 电机在 档速度时振动频谱

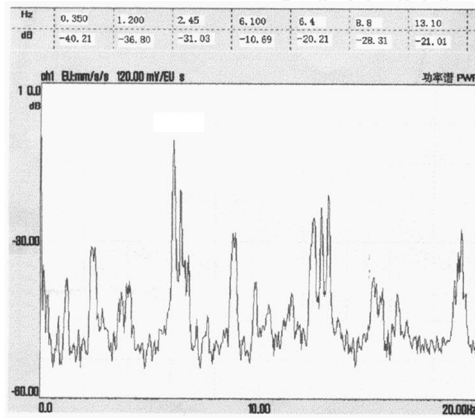


图 7 电机在 档速度时振动频谱

从图 3和图 7,图 4和图 8,图 5和图 9,图 6和图 10,四对功率谱图的对比中,可以发现,在考虑误差的情况下,图 3,图 4,图 5和图 6中突出的频率分别对应图 7,图 8,图 9和图 10中几乎都能发现。这说明在本实验中,大摩擦盘振动中的突出的随驱动速度变化的频率几乎都是由电机内部结构产生的振动引起的,电机是一个振动源,实际也说明步进电机性能较差。

比较频谱图,在 档和 档驱动时,还分别存在着 0.4Hz 0.3Hz的频率,它们分别与电机轴转动频率一样。计算 档和 档的转动频率并考虑到传感器的采集频率范围 0.2Hz~1.5kHz, 档和 档的轴转动频率低于 0.2Hz,所以无法采集到。但通过采集信号时,观察噪声和接触痕迹,可以判断出是小摩擦盘的偏心引起的。

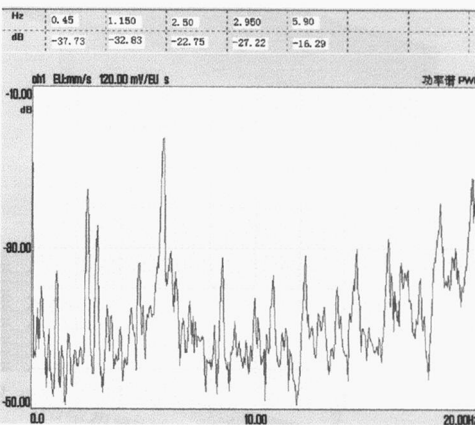


图 8 电机在 档速度时振动频谱

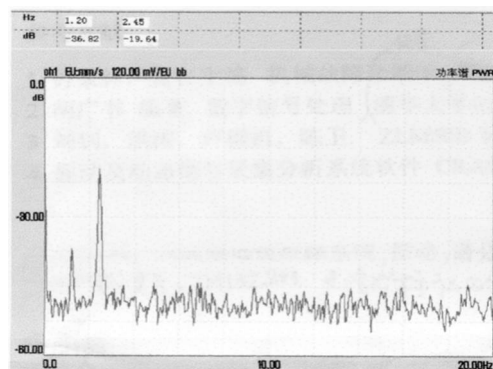


图 11 转速为零时底座振动频谱

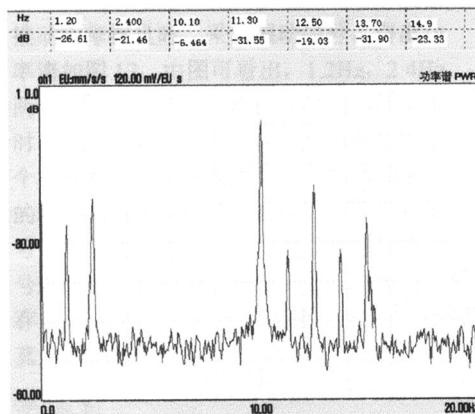


图 9 电机在 档速度时振动频谱

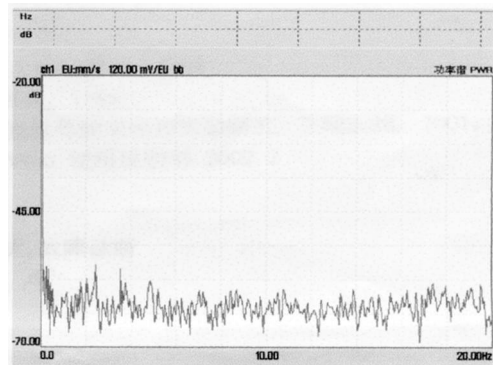


图 12 关闭电机驱动电源的频谱

对于实验中每次出现的固定有的 1.2Hz, 2.4Hz 两个频率, 还需要进一步进行分析。当电机驱动器和变压器工作, 但转速为零时, 采集支撑底盘的振动信号, 处理后得出功率谱图, 如图 11, 从图中可看出, 也存在 1.2Hz, 2.4Hz 两个异常频率。当关闭驱动电源和变压器电源, 用手直接推动大摩擦盘时, 采集振动信号, 得出功率谱如图 12, 由图可看出, 1.2Hz, 2.4Hz 两个频率在电机驱动电源和变压器不工作时已经不存在。由此, 我们可以判断出整个系统并不存在这两个频率, 而是因电机的驱动电源和变压器的磁场引起的干扰信号。为了进一步验证, 将振动传感器的信号线脱开, 开启驱动电源和变压器电源, 采集信号, 得出功率谱图, 如图 13, 可明显看出存在 1.2Hz, 2.4Hz 两个频率。由此肯定这两个频率信号是由磁干扰造成的假象, 并不存在真的振动。

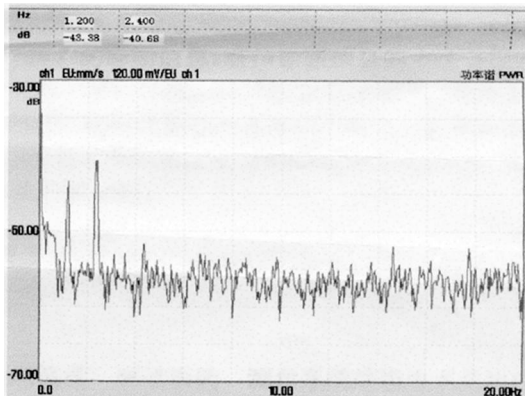


图 13 传感器的信号线脱开的功率谱图

3 结 论

频谱分析对天文望远镜跟踪系统的振动源进行了很好的识别。通过本次实验, 测试出了系统的固有频率, 电机内部结构, 小摩擦盘以及电磁干扰等对摩擦驱动试验装置的影响, 根据实验数据, 我们可以调整小摩擦盘的位置, 消除偏心现象; 选择合适的电机, 避开系统固有频率的影响, 提高摩擦驱动系统装调的精度和选择性能好的附件, 使天文望远镜摩擦驱动系统达到最高的精度。

振动的频谱分析作为一种传统的分析手段, 将此方法应用到望远镜上, 以振动信号作为故障和误差的诊断信息, 由振动信号的频谱特征分析故障和误差产生的原因, 确定故障和误差来源, 是一种行之有效的方法。实验表明这种方法具有实际应用价值。由于振动传感器的限制, 频率小于 0.05Hz 以下的误差信号不能被检测到, 所以此方法适用于频率较高的场合, 对于低频率部分的误差可以利用编码器输出作为诊断信息。

参 考 文 献

- 1 钟秉林, 黄仁主编. 机械故障诊断学. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 2 胡广书编著. 数字信号处理. 北京: 清华大学出版社, 1999
- 3 刘钊, 洪涛, 卢耀祖, 陈卫. ZLM50B 装载机驾驶室噪声实验研究. 工程机械, 2001, 6
- 4 振动及动态信号采集分析系统软件 CRAS V6.0 使用说明书, 2002. 2

第三届上海市“工程与振动”科技论坛征文通知

上海市振动工程学会、上海市造船工程学会、上海市力学学会、上海市机械工程学会、上海市土木工程学会、上海市航空学会、上海市宇航学会、上海市电机工程学会和上海市内燃机学会联合主办“第三届上海市‘工程与振动’科技论坛”, 是 2005 年上海市国际工业博览会科技论坛的重要组成部分, 由上海理工大学和同济大学土木防灾国家重点实验室承办, 定于 2005 年 11 月在“2005 年上海国际工业博览会”期间召开。会议将就工程中的振动问题进行学术交流, 欢迎各领域从事振动工程研究和应用的人士踊跃参加。

会议期间将邀请国内外著名教授专家作特邀专题学术报告。

会议期间还将组织国内外有关仪器设备的展览。

对于质量较高的学术论文将在《振动与冲击》杂志(国家中文核心期刊、美国 Ei Compendex 收录期刊、《中国科学引文数据库》来源期刊)刊出。

会议征文要求为:

2005 年 3 月 31 日前

用 E-mail 形式提交 300 字左右的中文摘要, 注明作者单位、详细通讯地址、邮编、E-mail 地址等详细资料。如无法使用 E-mail, 可以信函形式提交摘要。

2005 年 4 月 30 日前

发出录用通知及论文格式

(下转第 48 页)

FAULT DIAGNOSIS OF THE PLOT TRACKING SYSTEM OF ASTRONOMICAL TELESCOPE BY FREQUENCY ANALYSIS

He Qihui Li Guoping

(National Astronomical Observatories/Nanjing Institute of
Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042)

Abstract Frequency analysis method in modern signal processing is applied to investigate fault mechanism for astronomical telescope. Vibration faults of the plot friction driving system of the Large Sky Area Multi-Object fiber Spectroscopic Telescope are investigated and diagnosed with frequency analysis. The results of the experiment and analysis indicate that frequency features of the system can be figured easily and fault sources are distinguished successfully. Also, it is confirmed that frequency analysis is practical and effective for analyzing and diagnosing faults in astronomical telescopes.

Key words: tracking system of astronomical telescope, vibration, frequency analysis, fault diagnosis

NONLINEAR TRANSIENT DYNAMIC RESPONSE OF FREE - FREE RING - STIFFENED CYLINDRICAL SHELL SUBJECTED TO UNDERWATER EXPLOSION SHOCK WAVE

Zhang Zhenhua¹ Zhu Xi¹ Feng Gang¹ Li Yujie² Liu Jianhu² He Bin²

(1. Naval University of Engineering Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering,
Naval University of Engineering, Wuhan 430033; 2. China ship scientific research center)

Abstract Numerical investigation were carried out on free - free ring - stiffened cylindrical shell subjected to underwater explosion shock wave using MSC. DYTRAN. General coupling was used to simulate the fluid - shell interaction. Strain rate effect, geometric nonlinearity and initial geometric imperfection were considered. Numerical result agrees well with that of experiment. The equivalent plastic strain in middle plane of the nearest element, the middle element and the remote element both on rib and mid - rib were compared. The primary damage mechanisms of these elements were analyzed. The comparison between permanent deformations considering strain rate effect or not was presented.

Key words: underwater blast, ring - stiffened cylindrical shell, nonlinear dynamic response, MSC. DYTRAN

MECHANICAL ANALYSIS OF THE IMPACTED HONEYCOMBS

Lu wenhao Bao ronghao

(Department of Mechanics Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Two different approaches, theoretical analytical solution and finite element method, were used to study the mechanical properties of a single impacted hexagonal honeycomb cell, and it's found that for regular honeycombs, the in - plane elastic properties are only determined by the ratio of thickness to length of the cell wall. Then the impacted multi - cells honeycombs were simulated by means of finite element method, and it's ability of absorbing energy were studied.

Key words: honeycombs, finite element method, absorbing energy, ABAQUS