

谱分析在大坝外观 GPS 自动化监测中应用的研究

李英冰 徐绍铨 张永军 张小红 汪志明

(武汉测绘科技大学地测学院 武汉 430079)

摘要:隔河岩大坝外观 GPS 自动化监测系统由武汉测绘科技大学和湖北清江水电开发有限责任公司联合开发研究,它是一个由 2 个 GPS 基准站和 5 个 GPS 监测站组成自动化监测系统。在平时,该系统每 6 小时提供 1 组变形资料,在汛期,每 2 小时提供 1 组变形资料。本文利用该系统的形变监测资料和大坝的水位、温度等数据,利用快速傅里叶变换,将以上信号从时域转到频域内进行分析,研究水位、温度与大坝变形的关系,及时反映大坝变形规律和变形原因,并研制了相应的软件,得出了一些有益的结论。

关键词:隔河岩大坝, GPS, 形变监测, 快速傅里叶变换, 谱分析

1 概述

目前一般的变形监测数据处理和分析主要在时域内进行,而根据傅里叶变换,时域内的信号可以转到频域内进行分析,有时在时域内看不清的在频域内可以很容易看清楚。而目前国际和国内还没有成熟的大坝形变监测频谱分析和形变预测预警软件,研究、研制和开发相应的数据处理软件就具有重要的现实意义。

隔河岩水利枢纽是清江流域梯级开发的骨干工程,坝型结构新颖,地质条件复杂,需要采用先进技术监测大坝外部变形,以保证大坝安全。“隔河岩大坝外观 GPS 自动化监测

系统”利用卫星定位技术、数字通讯和计算机网络技术、自动控制技术、精密工程测量技术及现代数据处理技术等高新技术的集成,成功地将 GPS 定位技术用于大坝外部变形的长期连续实时监测。图 1 是该系统的网络拓扑图。

隔河岩大坝外观变形 GPS 自动化监测系统已连续运行两年多(汛期 2 小时一次,平时 6 小时一次测定变形量),有大量的观测资料,但至今仍未进行较完整的频谱分析。本文的研究,结合此生产实际,应用频谱分析理论和方法,作进一步的研究,并研制了一整套软件,希望对完善隔河岩大坝外观 GPS 变形自动化监测系统起一些积极作用。

2 谱分析理论与软件的研制

2.1 傅里叶变换

通过傅里叶变换,可以将时域中的资料转换到频域中来,其变换公式:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

$$F(\omega) = a(\omega) - ib(\omega) = |F(\omega)|e^{i\Phi(\omega)} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} |F(\omega)| &= [a^2(\omega) + b^2(\omega)]^{\frac{1}{2}} && \text{幅度谱} \\ \Phi(\omega) &= \tan^{-1}[-b(\omega)/a(\omega)] + 2n\pi && \text{相位谱} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} a(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\cos\omega t dt \\ b(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\sin\omega t dt \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$F(\omega)$ 是 $f(t)$ 中具有频率 ω 的那些分量的平均值。因为 $F(\omega)$ 指的是单位频率区间,故称其为谱密度,而 $[F(\omega)]$ 则为振幅密度。

2.2 谱分析中的几个重要函数

2.2.1 功率谱

在一般意义上,功率与幅度的平方成正比,相应的谱称为功率谱。在时间域中,任何函数 $f(t)$ 的平均功率由下式定义:

$$S(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2 dt \quad (5)$$

2.2.2 相干性

通过功率谱和互功率谱,相干性定义如下:对于 $S_{11}(\omega)$ $S_{22}(\omega) > 0$,

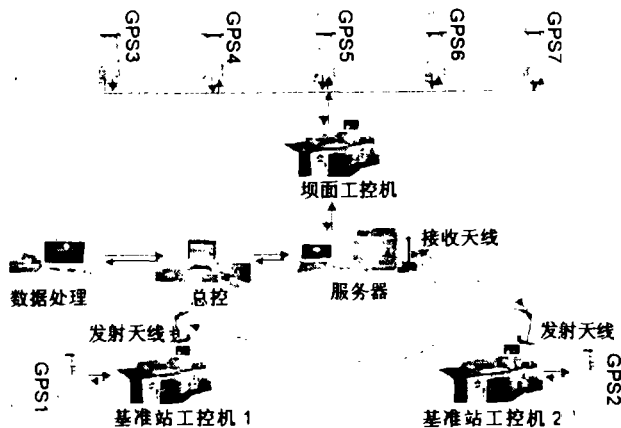


图 1 隔河岩大坝外观 GPS 自动化监测系统网络拓扑图

$$|r_{12}(\omega)| = \frac{|S_{12}(\omega)|}{[S_{11}(\omega)S_{22}(\omega)]^{1/2}} = \left[\frac{P_{12}^2(\omega) + Q_{12}^2(\omega)}{P_{11}(\omega)P_{22}(\omega)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

对于 $S_{11}(\omega)S_{22}(\omega) = 0$, $|r_{12}(\omega)| = 0$ 。由定义可知, $0 \leq |r_{12}(\omega)| \leq 1$ 。

2.2.3 频响函数

频响函数定义为系统脉冲响应函数 $h(\tau)$ 的 Fourier 变换, 即

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)e^{-i2\pi\omega\tau} d\tau \quad (7)$$

2.3 计算程序的设计与实现

为了便于分析结果, 笔者在 Visual C++ 6.0 环境下编了一个相应的程序 DSA1.0 (大坝变形动态监测谱分析软件, Dam deformation Spectrum Analysis system, version 1.0)。在软件 DSA1.0 中, 数据库模块是现有的, 主要完成了可靠性分析、平滑和内插、自谱估计、互谱估计、功率谱、相干分析等模块。本软件可运行于 Windows NT 和 Windows 95 环境。程序主要流程图如图 2 所示。

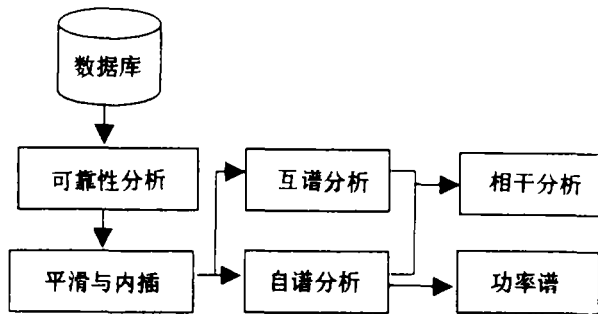


图 2 程序主要流程图

3 隔河岩大坝外观 GPS 自动化监测系统资料的谱分析

3.1 资料说明

本次取自隔河岩大坝外观 GPS 自动化监测系统的数据库中, 位移资料是 GPS6 垂直于坝轴线方向, 因为 GPS6 位于大坝拱冠上, 变形最大, 时间是从 1998.6.10 到 1999.10.13, 大坝上游水位资料是从 1998.6.10 到 1999.10.13, 温度资料是从 1998.6.10 到 1999.5.18。

3.2 资料的预处理

提取的资料中, 位移资料有时是 1 小时的监测资料, 有时是 2 小时的监测资料, 有时是 6 小时的监测资料, 为了便于分析, 在处理资料时, 一律归算成为 1 天 4 个资料, 有一部分资料缺少, 利用三次样条插值补全。水位资料有一部分是一天 48 个观测值, 有时是一天 1 个观测值, 温度一般是一天 3 个观测数据, 有时是一天 1 个观测值, 也要归算成为 1 天 4

个资料。经平滑内插后, 位移和水位各有 1964 个数据、温度有 1372 个数据参与频谱分析。然后分别对位移和温度、位移和温度进行自谱和互谱分析, 对位移速度和温度速度、位移速度和温度变化速度进行自谱和互谱分析。

图 3 到图 5 是 GPS6X 方向位移波形图、大坝上游水位波形图、温度变化波形图, 其横坐标以天为单位。其中位移以毫米为单位, 水位以米为单位, 气温以摄氏度为单位。

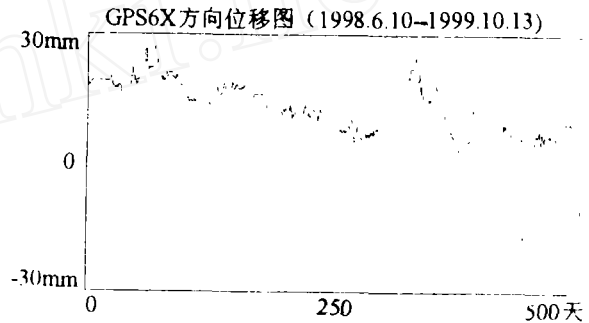


图 3 GPS6X 方向位移波形图

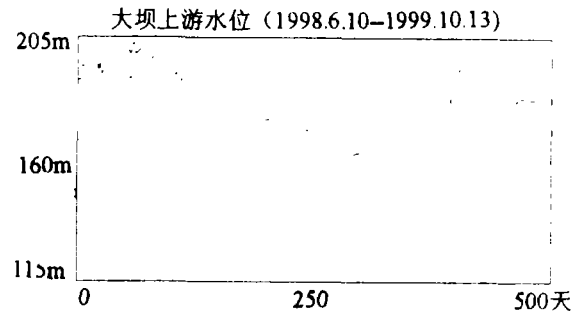


图 4 大坝上游水位波形图

3.3 功率谱分析

图 6 到图 8 分别是位移功率谱曲线、水位功率谱曲线、温度功率谱曲线。横坐标以赫兹 (Hz) 为单位, 纵坐标以分贝 (DB) 为单位。从图中可以看出位

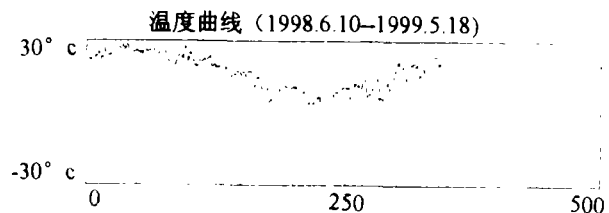


图 5 温度变化波形图

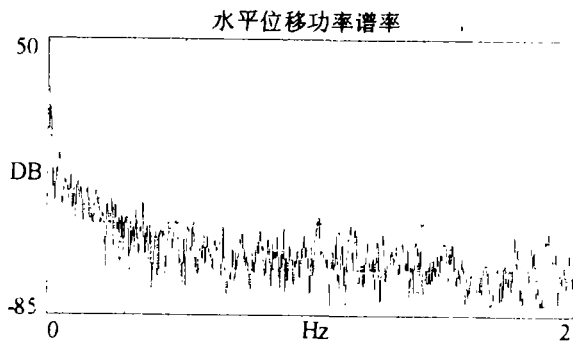


图 6 位移功率谱曲线

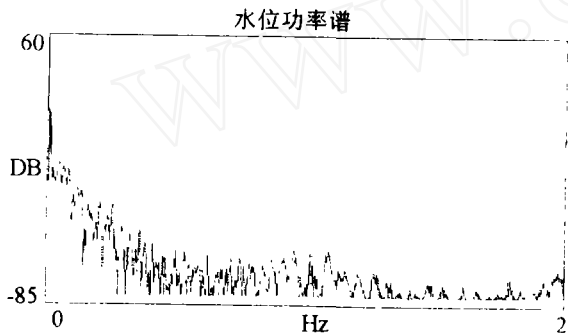


图 7 水位功率谱曲线

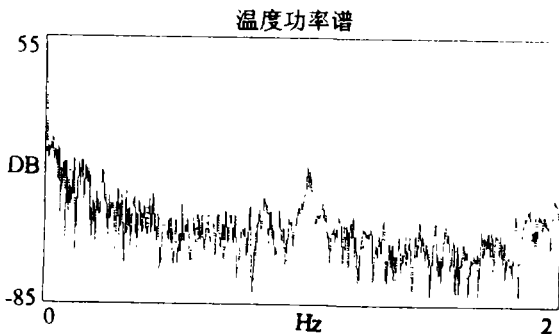


图 8 温度功率谱曲线

移、水位、温度的功率谱主要集中在低频部分,其中位移在 0.003906Hz(由 $T=1/f$ 得周期为 256 天,下同)功率谱达到最大值 48.553669DB(资料是实际计算结果,因子据量太多,为节省篇幅,此处不一一列出,下同),水位在 0.003906Hz(256 天)功率谱也达到最大值 58.302631DB,温度 0.003906Hz(256 天)功率谱为 50.775745 DB,为次最大值,在 0.007812 Hz(128 天)功率谱达到最大值 51.095207 DB。反映了三者能量的积累是一个长期的过程。三者的功率谱曲线很相似,其中位移和水位的功率谱更加接近,说明温度、水位对大坝的变形有影响,且水位对位移变形影响较大。

3.4 频响函数

图 9 到图 10 分别是位移、水位频响函数和位移、温度频

响函数。横坐标以赫兹(Hz)为单位,纵坐标中振幅谱以分贝(DB)为单位,相位谱以度(Deg.)为单位。在位移主频 0.003906Hz 处,传递函数值分别为:4.502583,1.226087。根据线性输入输出关系

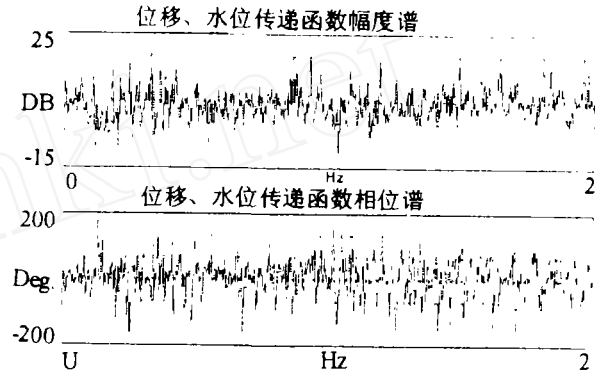


图 9 位移、水位频响函数曲线

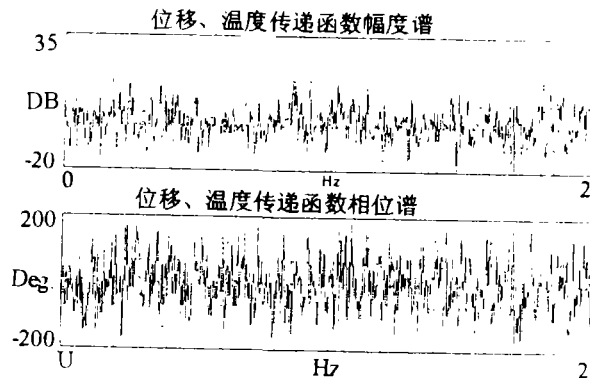


图 10 位移、温度频响函数曲线

$Y(\omega)=H(\omega)X(\omega)$ 。则水位对位移的影响 $4.502583 \times 29.151316=131.256$,温度对位移的影响 $1.226087 \times 25.387873=31.127$ 。如果只考虑水位和温度对位移的影响,则水位的影响为 81%,温度的影响为 19%。

4 结论

本文结合隔河岩大坝外观 GPS 自动化监测系统的资料,研究了水位、温度等与大坝变形的关系,通过以上资料的分析,可以得出以下结论:

1. 位移、水位、温度的功率谱主要集中在低频部分,变化周期约为 128 天。三者的频谱曲线极其相似,说明位移变化受到水位和温度的影响较大。
2. 通过对上述数据的分析,可以得出:如果只考虑水位

和温度对位移的影响,则水位的影响为 81%,温度的影响为 19%,水位对位移的影响比温度对位移的影响要大。

3. 本程序可以应用到其它因素(如:气压等)对大坝变形的影响。对于理解大坝变形的物理机制有一定的帮助作用,有益于进一步探求大坝变形的机理和变形原因。

参考文献

[1] 李英冰. 谱方法在大坝形变监测中的应用研

究. 武汉: 武汉测绘科技大学硕士论文, 2000

[2] 邓跃进、张正禄. 大坝变形的频谱分析方法. 测绘信息与工程, 1997. 3

[3] 陈永彬. 数字信号处理. 南京: 南京工学院出版社, 1987

GPS 天线及射频附件

多年来,科泰丰公司一直致力于 GPS 天线、转发系统等附件的研制和开发,该公司的实力在于有丰富的 GPS 经验和微波天线知识的完美结合。除了多种常规的 GPS 天线外,还拥有高精度的测量型天线、高灵敏度的天线、高增益天线、差分基站天线、方向图极宽的天线等全系列 GPS 天线,可以广泛用于导航定位、差分、测量、授时、车载、船载、机载等场合;拥有多种抗异频干扰技术和多种抗多径干扰技术。以帮助客户开发新产品、解决疑难问题为已任。并已成为多家 GPS 接收机代理商, GPS 系统集成公司配套各种 GPS 天线,产品遍及航空、航天、空军、海军、高校、测绘等科研单位。拥有多项国际独有的 GPS 天线技术:

1. 高灵敏度、抗干扰的船用天线;
2. 首创超薄 GPS 车载天线,厚 7mm,可以隐藏在汽车缝里,灵敏度高;
3. 零相位中心天线,多个馈电点技术,多模抑制技术,适合高精度的大地测量;同时,拥有多种精度的测量型天线,包括 L1、L2、GNSS 三频天线;
4. 首创插入损耗最低的 GPS 滤波器(典型值 0.17dB),因而可以放在低噪声放大器的前边,该公司生产的天线几乎都配备这种滤波器;
5. 电缆超长的高增益天线,配合中继放大器,电缆可达 200 米以上;
6. 高档 GPS/GLONASS 天线 轴比的典型值 1dB;
7. 首创多极点抗干扰技术,可以对多个强干扰信号进行极值衰减,特别适用于移动通信基站的授时天线和差分基站天线;可对不同干扰信号设计,将极点对准;
8. GPS 转发系统:稳定可靠、性能优良,使用方便,价格超低;
9. 微波附件:放大器、滤波器、合成器、微波直流合成或分路器及高精度的鉴定测量接收机用的功分器等。

快速跟踪国际先进水平,努力创造新技术。先进的技术保证了产品的性能,过硬的知识是您坚强的后盾,低廉的价格是我们友谊的手,周到的服务是您的朋友。

北京科泰丰公司 E-mail:GPSANT@263.net

欢迎索取具体的技术资料

地址:北京海淀区白石桥路 42 号南楼 519 室

联系人:彭悦 邮编:100081

电话/传真:010-62172394 BP(自动):1921184327

手机:13501317422