

文章编号:1000-582X(2007)04-0076-03

微位移测量技术的分析*

杨力生,杨士中,曹海林,王 韬,雷剑梅

(重庆大学 通信与测控研究所,重庆 400030)

摘 要:针对通常微位移测量方法的昂贵、不能连续自动观测的缺点,提出了一种基于角反射器和微波相干比相的微位移测量系统;当微位移方向与电波传播方向平行时,采用基本测量系统.当微位移方向与电波传播方向不平行时,采用弯管测量系统.详细介绍了微位移测量系统的工作过程,还给出了信道计算方法和传输测量结果的通信电路.该通信电路可通过移动电话把测量结果传到指定电话号码的终端,并给出了实测结果.

关键词:微位移;GPS;微波相干比相

中图分类号:TN911.23

文献标志码:A

1 研究背景

大型水库的库岸边坡,山区公路、铁路边坡有危岩、滑坡、地裂等地质灾害.桥梁、大坝、摩天大楼等大型建筑会发生微位移、微变形.微位移量是危险报警的主要监测参数.现有的微位移监测技术有:

1)在建筑物浇注混凝土时预埋光纤传感器^[1-2],通过光纤传感器输出信号分析微位移量.例如要测量桥的微位移(微变形)就须修桥时在混凝土中预埋光纤传感器,以便桥在使用后通过检测光纤传感器参数的变化来测量桥的微位移.若要测某库岸或路边滑坡的微位移就较麻烦,须打洞,放置光纤、再灌水泥,再测量.可能的问题是:a.长期使用中一旦光纤传感器坏在混凝土中,很难修复. b.在已建成的建筑物或危岩等情况很难埋设光纤. c.预埋光纤影响混凝土材料的连续性 & 应力情况.

2)GPS 载波相位测量定位.中国南方测绘集团引进了法国这一技术,生产 RTK-NGK-500 设备^[3,4].其微位移测量精度达 $5\text{ mm} + 1\text{ ppm} \times D$; D 是基准站到待测点的距离.可能的问题是:a.将 NGK-500/600 用于微位移测量成本高(进口价格为 60 万元,国产价格为 24 万元),大量使用,花费太大(据专家估计三峡水库库岸、库区需 1 000 多个监测点,此外,其他大型水库,公

路、铁路边坡、桥梁、大坝、摩天大楼等需要量也很大). b. 测绘系统布置复杂,在被测点设立分站,放 1 台 RTK-NGK-500 分站设备;在测点设立基准站,放 1 台 RTK-NGK-500 主站设备.主分站之间还要用电台连结. c. 分站架设在被测点(如危岩、滑坡、桥、大坝等),故长期监测供电,还须提供监测人的住所. d. 被测点塌了,分站设备同时也摔坏.

3)精密大地测量的方法.在被测处放置标尺,在固定处架设经纬仪人工观测.这种方法只能短时测量,不能长期连续观测.而灾害预测正须连续观测,自动报警.

笔者提出一种新颖、先进、实用的微位移和微变形监测方法,克服了现有技术的缺点,研究结果将用于防灾、减灾中.

2 基本测量系统

基本测量系统^[4]如图 1 所示,由安放在被测点上的角反射器和测点上的微波比相设备构成.并设微位移方向与电波传播方向近似平行.角反射器由 3 块铝板构成,对微波有极强的反射力,把人射到它的微波按原路径全反射回来(类似夜间高速公路上的珠光玻璃,在车灯照射下像一盏灯).这里用了 2 个天线,仅因高隔离度的同频双工器难做.为克服本振源的频率与相位漂移,收发信道共用同一本振源.工作过程如下:

* 收稿日期:2006-12-02

基金项目:重庆市科技计划资助项目(7663)

作者简介:杨力生(1972-),男,重庆大学研究员,主要从事通信与测控技术等方面的研究.

(Tel.):023-65105925-615;E-mail:yls@ccee.cqu.edu.cn

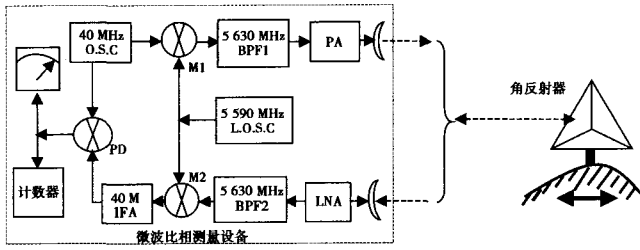


图1 基本测量系统图

振荡器 OSC 产生的 40 MHz 单频信号与本振源 L. OSC产生的 5 590 MHz 本振信号在混频器 M1 中混频,经带通滤波器 BPF1 滤波后得到 5 630 MHz 的单频信号. 经功率放大器 PA 放大后,由天线辐射到被测点上的角反射器. 角反射器按原路径反射回电波,经天线接收,低噪声放大器 LNA 放大,带通滤波器 BPF2 滤波后与本振源 L. OSC 产生的 5 590 MHz 本振信号在混频器 M2 中混频,再经 40 MHz 中频放大器 IFA 放大后得 40 MHz 中频信号. 此中频信号与振荡器 OSC 产生的 40 MHz 信号在鉴相器 PD 中比相,得表示相位差的电平 $U = k \times \varphi$, k 为比例常数 ($V/^\circ$), φ 为相位差 ($^\circ$), 由电平指示器显示,或把此电平经 A/D 变换后数字显示. 如位移太大,使相位差 φ 超过 360° ,则由整周计数器作整周计数计,设整周数为 N .

测量计算举例:若射频为 5 630 MHz,对应波长 $\lambda = 5.33$ cm. 若被测点相对于测点发生了 ΔR 的位移,则相位差变化 $\Delta\varphi = 720 \times \Delta R / \lambda$ ($^\circ$). 或 $\Delta U = k \times 720 \times \Delta R / \lambda$. 测出 ΔU 后,反算 $\Delta R = \lambda \times \Delta U / (k/720)$. 如相位测量的分辨率为 $\Delta\varphi = 10^\circ$ 度,或电平测量的分辨率为 $\Delta U = k \times 10$,对应微位移测量的分辨率为 $\Delta R = 0.74$ mm. 若位移超过 $\lambda/2$,则绝对位移 $R = N \times \lambda/2 + \Delta R$.

3 弯管测量系统

在基本测量系统中假设微位移方向与电波传播方向平行. 当微位移方向与电波传播方向不平行时,比相测出的位移量 $|D_m|$ 不是实际位移量 $|D|$. 两者关系为:

$$|D_m| = |D| \cdot \cos\alpha = |D| \frac{D \cdot W}{|D| \cdot |W|} \quad (1)$$

式(1)中 $|D_m|$ 为比相测出的位移矢量; $|D|$ 为实际位移矢量; α 为位移矢量与电波传播方向的夹角. 测出的微位移量是实际微位移量在电波传播方向的投影. 如果微位移与电波方向近似垂直会测不出微位移. 如测点须设在危岩下方,这是很危险的. 图2所示的弯管测量^[5]系统便能解决这一问题. 用一反射板改变电波传播方向,调整反射板角度,使测点位置在一有效、安全、方便处. 弯管测量系统的精度与基本测量系统相同,并且角反射器、反射板成本都很低.

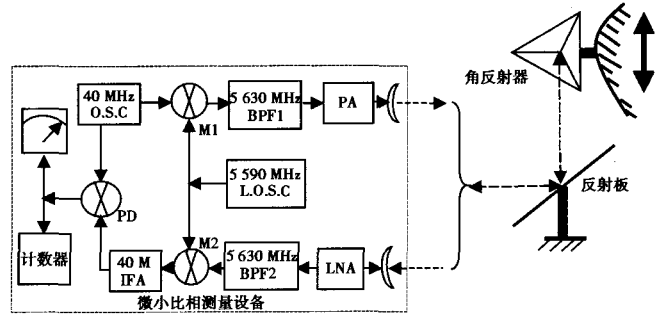


图2 弯管测量系统

4 信道计算举例

角反射器的斜边长 $b = 1$ m, 有效雷达横断面 σ 为^[5-6]

$$\sigma = \frac{4 \times \pi \times b^4}{3 \times \lambda^2} \quad (2)$$

对频率 $f = 5 630$ MHz, $\lambda = C/f = 5.33$ cm, 故 $\sigma = 1 491$ m².

在实验装置中天线直径 $D = 40$ cm, 效率 $\eta = 0.5$ 故增益

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 = 24 \text{ dB}, \quad (3)$$

发射功率 $P_t = -14$ dBw = 16 dBm = 40 Mw. 距离 $R = 50$ m. 反射功率

$$P_c = P_t G \sigma / 4\pi R^2 \quad (4)$$

接收天线处的功率密度为

$$P_t G \sigma / (4\pi R^2)^2 \quad (5)$$

接收天线的有效面积

$$A = G \lambda^2 / 4\pi = 6.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \quad (6)$$

球面积平方

$$B = (4\pi R^2)^2 = 9.87 \times 10^8 \quad (7)$$

故接收功率

$$P_r = P_t G \sigma A / B = [P_t G \sigma / (4\pi R^2)^2] G \lambda^2 / 4\pi = -59 \text{ dBm}$$

5 测量结果的传输

微位移的现场测量结果可用电话拨号方式传输, 只要给出终端的电话号码, 可用电话线路传至远方终端. 电路原理如图3所示. 为便于理解图中还给出 $a \rightarrow d$ 各点波形.

6 实验与测试结果

图4为系统主机及通信设备. 图5为整个微位移测量系统. 图6为测试结果.

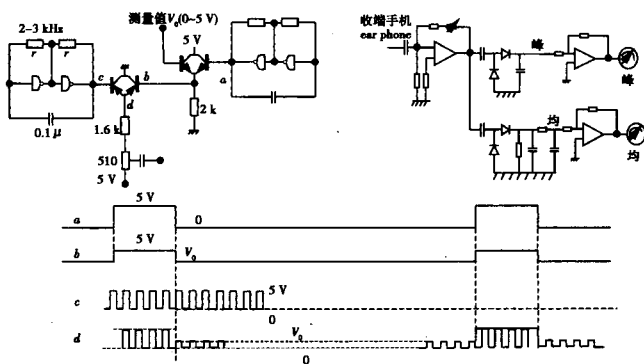


图3 数据发送与接收电路图与波形

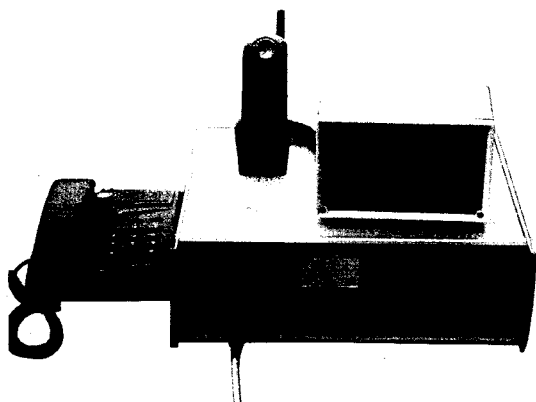


图4 系统主机及通信设备

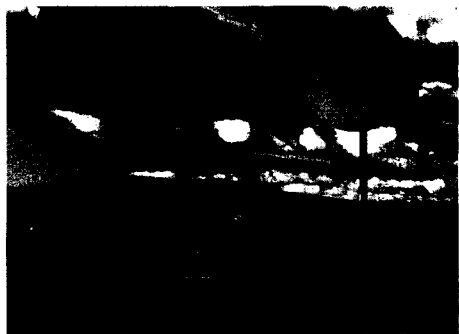


图5 整个微位移测量系统

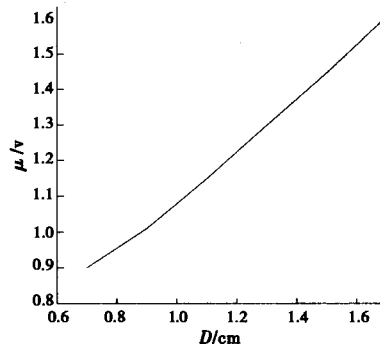


图6 测试结果

用频谱仪测量发射频率、发射功率和隔离度。在被测点安装无源反射器,被测点放置微位移测控系统,在被测点用螺杆使无源反射器位移来模拟被测点的位移。微位移系统能正确反映被测点的有效位移。小测量精度小于 1 mm。本地可用记录仪将测量数据存储下来,以备地质工作者分析和查询,保存时间可达 1a。必要时通过电话拨号,经由 PSTN 网络可将测量的数据传送至远端。

参考文献:

- [1] 李川,张以谟,张铁根,等. 可用于建筑结构检测的分布式光纤形变片[J]. 光子学报, 2001,30(10):1259-1262.
- [2] 李志高,潘英俊,黄尚廉. 分布式光纤压力传感器的光信号处理[J]. 重庆大学学报,1994,17(4):41-44.
- [3] 张守信. GPS 卫星测定定位理论与应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1996:116.
- [4] 杨士中. 一种微位移测量系统. 中国,10113925.9[P]. 2006-08-23.
- [5] MERRILL I,SKOLNIK. Radar handbook[M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Inc., 1990.
- [6] BAIANIS CA. Antenna Theory Analysis and Design[M]. New York: Happer & Row, 1982.

Micro Displacement Measurement System

YANG Li-sheng, YANG Shi-zhong, CAO Hai-lin, WANG Tao, LEI Jian-mei

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to solve the shortcoming of generally used measure method for Micro displacement, which is expensive and unable to automotive longtime watch, a sort of MDMS is gwen based on the corner reflector and microwave phase measurement. In the situation in which the direction of the micro displacement parallels to that of electromagnetic wave radiation, the basic MDMS is recommended. Otherwise the bend MDMS is recommended. The principle of MDMS is described. The example of channel calculation and circuit for transmitting measure result are also provided. The communication circuit transmits measurement to termination demanded. Finally the experiment results are given.

Key words: micro displacement measurement; GPS; coherent phase discrimination

(编辑 侯 湘)