

DLG型断层位移水平切向分量测量仪自动化标定^{*}

范良龙, 李 宏, 张世中, 张鸿旭

(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要: 介绍了 DLG型断层位移水平切向分量测量仪的自动化标定系统组成、标定原理和标定过程。给出了该标定系统在北京市丰台区大灰厂地震台的实际标定结果, 该结果满足地壳形变观测仪技术标准的要求。

关键词: 断层位移水平切向分量测量仪; 自动化标定; 标定装置; 步进电机; 线性度; 重复性

中图分类号: TH762.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2009)01-0036-04

定结果。

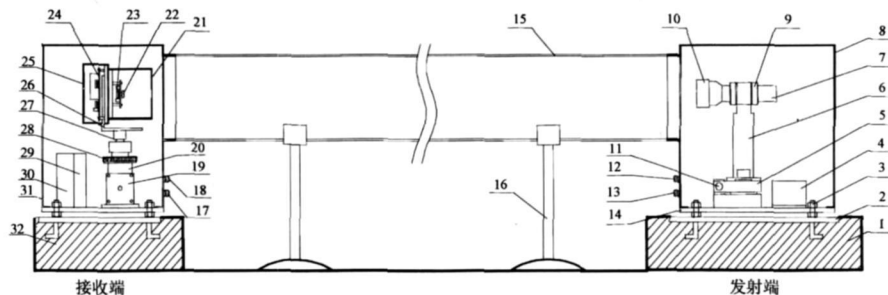
0 引言

由中国地震局地壳应力研究所独立研制的 DLG型断层位移水平切向分量测量仪 (简称 DLG仪) 主要用于观测断层位移水平切向分量, 目前已大量推广应用 (国家地震局科技监测司, 1995)。过去对 DLG仪的人工标定费时费力, 标定过程受人为因素影响较大, 标定数据的处理也比较繁琐, 容易出错。针对这种情况, 我们设计了一套自动化标定装置和标定程序, 很好地解决了这些问题。

设计方案以步进电机为核心, 通过程控驱动的高精度步进电机驱动一套带测微螺旋的精密水平导轨, 实现对 DLG仪中测量端的微量位移控制, 从而实现自动标定。本文主要介绍了自动化标定系统的组成和标定实现方法, 并给出了运用该方法对北京市丰台大灰厂地震台的 DLG仪的标

1 DLG仪基本工作原理

DLG仪采用线阵 CCD传感器作为位移测量器件, 发射端的激光光源发射的平行光投射到接收端的 CCD传感器上, CCD测量电路会记录下平行光在 CCD传感器上的投影位置, 将其转换为电信号并输出。在布设仪器时, 将 DLG仪的发射端和接收端分别安装在断层的上盘和下盘, 而 CCD传感器的安装方向为断层的切向方向。这样, 当断层的上盘和下盘发生错动 (左旋或右旋) 时, CCD的输出数据就会发生变化: 当断层左旋时, 数据增大; 当断层右旋时, 数据减小。这样, 通过 DLG输出数据的变化, 就可以判断断层水平切向的运动情况。DLG仪工作原理如图 1 所示。系统选用的是日本东芝公司的 TCD2901 D型线阵 CCD传感器, 该 CCD的像元数是 10 550 分辨率为 $4 \mu\text{m}$ 。



1. 发射端机墩; 2. 预埋底板; 3. 预埋螺杆; 4. DLG激光器电源; 5. 转动平台; 6. 光源支架; 7. 激光准直镜; 8. 发射端机箱; 9. 光源锁紧套筒;
10. 狭缝调节器; 11. 转动调节旋钮; 12. 电源线接口; 13. 通讯线接口; 14. 安装底板; 15. 光路保护套管; 16. 托架; 17. 通讯线接口;
18. 电源线接口; 19. 步进电机; 20. 标定平台; 21. 遮光罩; 22. CCD传感器; 23. CCD电路板; 24. 电源电路板; 25. 电路板保护罩;
26. 直立柱; 27. 立柱; 28. 升降调节钮; 29. 步进电机驱动器; 30. 步进电机; 31. 接收端机箱; 32. 接收端机墩;

图 1 DLG仪工作原理示意图

^{*} 收稿日期: 2008-07-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金项目 (ZD2008-23) 资助

精度较高, 量程目前主要是 50 mm, 因此该仪器适合高精度微量位移测量。

2 标定系统组成及原理

标定系统主要由标定装置、仪器测量单元和上位机自动化标定程序等几个部分组成。标定装置主要由步进电机、步进电机驱动器、步进电机电源、步进电机控制器和滑轨等几个部分组成。标定系统靠上位机自动化标定程序发送指令来控制运转。步进电机控制器的控制程序和仪器测量单元程序采用 C51 语言编程, 上位机自动化标定程序采用 VB6.0 编程。

步进电机是标定装置的核心部件, 采用专用的 +24 V 电源供电, 最大允许电流 5.3 mA。把步进电机细分为 5 000 (步/转), 也就是说发 5 000 个脉冲步进电机带动螺旋付转动一周时 (步进电机的螺距为 0.5 mm), 螺旋付带动滑块在滑轨上前进的直线距离为 0.5 mm。经过简单换算可知, 单片机发 1 个脉冲, 螺旋付带动滑块在滑轨上前进的直线距离为 0.000 1 mm。程序控制单片机 1 次发 100 个脉冲, 滑块在滑轨上前进的最小距离就为 0.01 mm。这个最小距离是可以程序控制的, 它的大小取决于步进电机的细分数和单片机 1 次发送的脉冲数。根据不同的要求, 这个值是可以调节的。而步进电机驱动器负责对步进电机进行细分、进行最大允许电流的选择以及对步进电机步进方向进行控制。步进电机控制器以 89C2051 为核心, 负责与上位机进行通信, 发送步进命令, 控制电机的步进。

DLG 仪标定原理如图 2 所示。当步进电机在上位机程序控制下驱动滑块在滑轨上沿断层切向方向移动时, 发射端激光光源发射的激光经过狭缝变为平行光束, 光束在接收端 CCD 传感器上的投影位置也发生变化, 于是 CCD 测量电路把激光在 CCD 上的投影位置转换为数据。从发射端向接收端看, 滑块在滑轨上左移时, 数据变大; 滑块在滑轨上右移时, 数据变小。

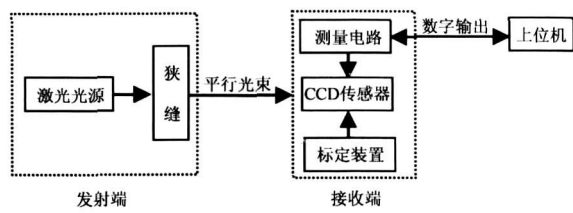


图 2 DLG 仪标定原理方框图

从断层上盘和下盘的相对运动角度来说, 上盘相对于下盘左旋运动时, CCD 传感器的输出数据增大; 上盘相对于下盘右旋运动时, CCD 传感器的输出数据减小。这样通过步进电机驱动滑块在滑轨上的移动就可以模拟断层切向方向的位移, 然后由接收端的 CCD 测量电路记录投影位置的变化。步进电机按照图 3 规定的标定过程移动, 上位机通过串口读出读数, 从而形成标定数据。

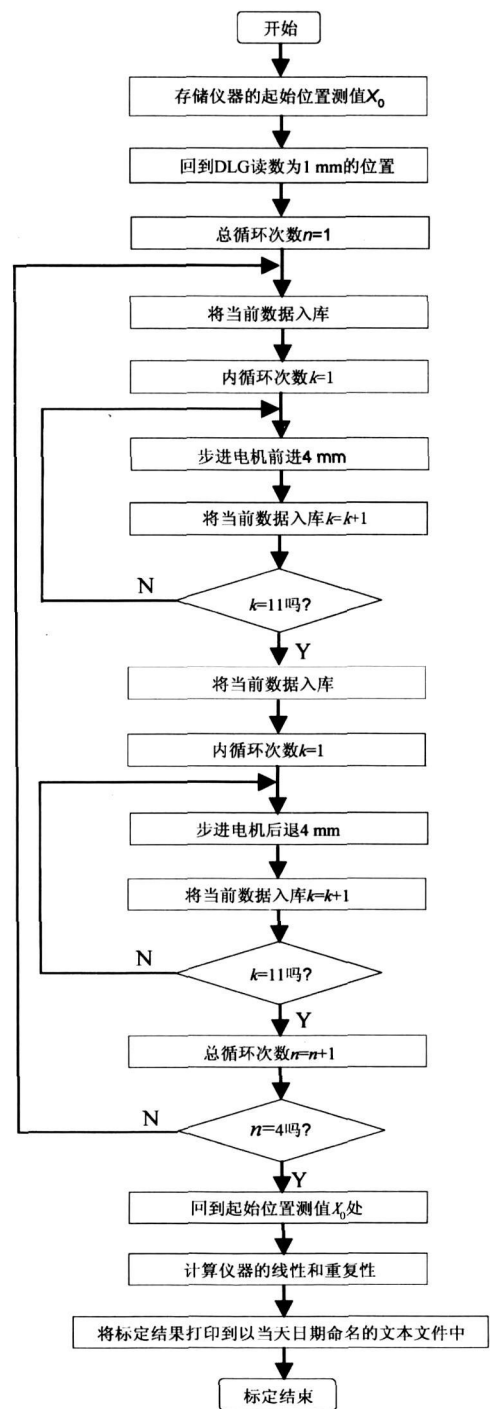


图 3 DLG 自动化标定流程图

3 标定过程

标定工作在全量程（1~41 mm）范围内进行，标定步长为全量程的 10%，即 4 mm。

首先读取并存储仪器的起始位置测值 X_0 ，然后让 DLG 仪回到读数为 1 mm 的位置，将当前数据入库；步进电机驱动滑块 1 次前进 4 mm，共前进 10 次，记下每次的读数，10 次为 1 个正程。然后开始反程标定：将当前数据入库；步进电机驱动滑块 1 次后退 4 mm，共后退 10 次，记下每次的读数，10 次为 1 个反程，这样就完成了 1 个正、反程循环。1 个正程和反程合称为 1 次循环，共做 3 次循环，就得到仪器的原始标定数据（图 3）。自动化标定程序由数据采集程序按设定的标定时间调用，程序运行界面如图 4 所示。



图 4 自动化标定程序运行界面

4 标定结果计算方法

线性度计算（计算拟合直线）

$$L = \left| \frac{\Delta Y_{max}}{b(X_n - X_0)} \right| \times 100\%.$$
 (1)

式中，L 为线性度， $\Delta Y_i = Y_i - (a + bX_i)$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，而 (ΔY_i) 集合中的最大值即为 ΔY_{max} 。

重复性误差计算（王昌明等，2005）

$$\delta_R = \frac{\Delta_R}{Y_{FS}} \times 100\%.$$
 (3)

式中， Δ_R 为同一激励对应多次循环的同向行程响应量的极差， Y_{FS} 为满量程值。

5 标定数据和计算结果

北京市丰台区长辛店乡大灰厂村断层形变台的断层形变观测系统基线长度为 24 m，于 2007 年 9 月采用中国地震局地壳应力研究所研制的断层形变数字化自动观测系统。系统安装调试完成后，我们运用 DLG 标定系统对断层位移水平切向分量测量仪进行了现场标定，得到了原始标定数据（表 1），我们利用这些数据，计算了观测系统线性度误差和重复性误差等。其中，DLG 仪的最大线性度误差为 0.162%，重复性误差为 0.104%。标定结果的线性度误差和重复性误差均小于 0.5%，达到仪器的技术指标要求，也满足地壳形变观测仪技术标准的要求。

表 1 大灰厂台 DLG 仪标定过程中 3 个循环的原始数据

步长	第一次正程	第一次反程	第二次正程	第二次反程	第三次正程	第三次反程
1. 000	1. 042	1. 017	0. 955	1. 013	0. 954	1. 014
5. 000	4. 995	5. 032	4. 959	5. 034	4. 958	5. 030
9. 000	9. 008	9. 039	8. 964	9. 040	8. 964	9. 040
13. 000	12. 952	12. 988	12. 915	13. 004	12. 917	12. 992
17. 000	16. 968	17. 000	16. 915	17. 023	16. 916	17. 000
21. 000	20. 985	21. 024	20. 972	21. 024	20. 974	21. 024
25. 000	24. 942	24. 960	24. 879	24. 976	24. 868	24. 954
29. 000	28. 956	29. 008	28. 922	29. 011	28. 918	29. 001
33. 000	32. 977	33. 062	32. 943	33. 040	32. 938	33. 038
37. 000	36. 940	37. 082	36. 924	37. 051	36. 912	37. 048
41. 000	40. 920	41. 028	40. 916	41. 004	40. 916	41. 000

6 结论

DLG仪自动化标定系统首次实现了仪器的完全自动化标定, 标定软件对标定条件实行智能化判断, 可以对初始数据不稳定和数据异常等情况进行判断, 从而保证了仪器状态符合标定条件时才进行标定。标定过程简便, 标定结果可靠有效, 大大减轻了标定工作量, 原来至少需要 1 天才能完

成的工作, 现在只要 4 个多小时即可完成。标定时间的选择可以通过软件设定, 标定过程最大限度地减少了人为因素的影响。

参考文献:

- 国家地震局科技监测司. 1995. 地震地形变观测技术 [M]. 北京: 地震出版社.
- 王昌明, 孔德仁, 何云峰, 等. 2005. 传感与测试技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社.

Automatic Calibrating Method of DLG-type Fault Shearing Deformation Monitoring Instrument

FAN Liang-long LI Hong ZHANG Shi-zhong ZHANG Hong-xu
(Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China)

Abstract

We introduce the composition of automatic calibrating system, and calibrating principle and method of DLG-type fault shearing deformation monitoring instrument, and give the calibrating result of the system at the Dahuchang seismic station, Fengtai, Beijing. The calibrating result satisfies the demand for corresponding industry standards.

Key words: fault shearing deformation monitoring instrument; automatic calibrating; calibrating device; stepping motor; linearity; repeatability