



同济大学本科教材出版基金资助



岩土与地下工程监测实验指导书

夏才初 陈忠清 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



同济大学本科教材出版基金资助

岩土与地下工程监测实验指导书

夏才初 陈忠清 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

岩土与地下工程监测实验指导书 / 夏才初, 陈忠清
编著. —上海: 同济大学出版社, 2019. 10

ISBN 978-7-5608-8752-4

I. ①岩… II. ①夏…②陈… III. ①岩土工程—监测—高等学校—教学参考资料②地下工程测量—高等学校—教学参考资料 IV. ①TU413②TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 205295 号

岩土与地下工程监测实验指导书

夏才初 陈忠清 编著

责任编辑 李杰 胡晗欣 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)
经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店
排 版 南京月叶图文制作有限公司
印 刷 大丰科星印刷有限责任公司
开 本 710mm×960mm 1/16
印 张 7
字 数 140 000
版 次 2019 年 10 月第 1 版 2019 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-8752-4

定 价 28.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

目 录

第 1 章 传感器标定实验	1
1.1 概述	1
1.2 实验仪器设备及原理	1
1.2.1 振弦式传感器	1
1.2.2 标定设备	3
1.3 实验操作与记录	6
1.3.1 操作步骤	6
1.3.2 实验记录	8
1.4 实验成果整理	8
1.4.1 振弦式土压力盒和孔压计标定实验成果整理	8
1.4.2 振弦式测缝计标定实验成果整理	9
1.5 实验注意事项	11
第 2 章 无线自动测试系统实验	14
2.1 概述	14
2.2 实验仪器设备及原理	14
2.2.1 仪器设备	14
2.2.2 实验原理	17
2.3 实验准备工作	18
2.3.1 系统软件的安装及使用	18
2.3.2 无线静态应变仪使用前的准备工作	19
2.4 实验操作与记录	20
2.4.1 操作步骤	20

2.4.2	实验记录	24
2.5	实验成果整理	24
2.6	实验注意事项	24
第3章	地下结构与岩土体深层水平位移监测实验	27
3.1	概述	27
3.2	实验仪器设备及原理	27
3.2.1	仪器设备	27
3.2.2	实验原理	29
3.3	实验准备工作	31
3.4	实验操作与记录	32
3.4.1	操作步骤	32
3.4.2	实验记录	32
3.5	实验成果整理	33
3.6	实验注意事项	35
第4章	深基坑施工和监测模型实验	37
4.1	概述	37
4.2	实验仪器设备及原理	38
4.2.1	仪器设备	38
4.2.2	实验原理	38
4.3	实验准备工作	42
4.3.1	监测元件的安装	42
4.3.2	测点编号	42
4.3.3	接线	44
4.4	实验操作与记录	45
4.4.1	操作步骤	45
4.4.2	实验记录	49
4.5	实验成果整理	49
4.5.1	计算	49
4.5.2	结果分析	51
4.6	实验注意事项	52

第 5 章	隧道洞周收敛监测实验	55
5.1	概述	55
5.2	实验仪器设备及原理	55
5.2.1	仪器设备和配件	55
5.2.2	实验原理	57
5.3	实验准备工作	58
5.4	实验操作与记录	59
5.4.1	操作步骤	59
5.4.2	实验记录	60
5.5	实验成果整理	60
5.6	实验注意事项	62
第 6 章	土体分层沉降监测实验	64
6.1	概述	64
6.2	实验仪器设备及原理	64
6.2.1	仪器设备	64
6.2.2	实验原理	66
6.3	实验准备工作	66
6.4	实验操作与记录	67
6.4.1	操作步骤	67
6.4.2	实验记录	68
6.5	实验成果整理	68
6.6	实验注意事项	70
第 7 章	隧道地质雷达探测实验	72
7.1	概述	72
7.2	实验仪器设备及原理	72
7.2.1	仪器设备	72
7.2.2	实验原理	74
7.3	实验操作与记录	75
7.3.1	操作步骤	75
7.3.2	实验记录	76

7.4	实验成果整理	76
7.5	实验注意事项	78
第8章	超声波测试实验	80
8.1	概述	80
8.2	实验仪器设备及原理	80
8.2.1	仪器设备	80
8.2.2	实验原理	82
8.3	实验操作与记录	84
8.3.1	操作步骤	84
8.3.2	实验记录	86
8.4	实验成果整理	86
8.5	实验注意事项	88
第9章	类岩石材料不均匀冻胀实验	90
9.1	概述	90
9.2	实验仪器设备及原理	90
9.2.1	仪器设备	90
9.2.2	实验原理	94
9.3	实验操作与记录	95
9.3.1	操作步骤	95
9.3.2	实验记录	97
9.4	实验成果整理	98
9.5	裂隙岩体不均匀冻胀实例	98
9.5.1	试件制作	98
9.5.2	试件安装	99
9.5.3	实验数据处理	99
	参考文献	104

第 1 章 传感器标定实验

1.1 概述

传感器标定主要用于建立传感器输入量和输出量之间的关系,明确传感器的输出特性,得到输出特性曲线或标定曲线。

本实验的目的是理解传感器标定的基本概念,熟悉传感器标定的基本方法和过程,掌握传感器标定结果的使用,以及了解振弦式土压力盒等传感器的原理与测试方法。

1.2 实验仪器设备及原理

1.2.1 振弦式传感器

1. 工作原理

通过外力作用下传感器钢弦内应力的变化,转变为钢弦振动频率的变化,再将频率信号经电缆输出,从而实现压力及位移的量测,如式(1-1)所示。

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \quad (1-1)$$

式中 f ——钢弦振动频率；

L ——钢弦长度；

ρ ——钢弦密度；

σ ——钢弦所受的张拉应力。

2. 常见传感器类型

(1) 振弦式土压力盒(图 1-1a)。土压力盒的量程可根据实际工程需要选用,常见量程有 0.4 MPa,0.6 MPa,1.0 MPa 及 2.0 MPa,测量精度一般可达 0.1%F. S.,广泛应用于建筑、交通、水电、大坝、隧道等工程领域的现场土压力监测。

(2) 振弦式孔压计(图 1-1b)。孔压计的量程可根据实际工程需要选用,常见量程有 0.4 MPa,0.6 MPa,1.0 MPa 及 1.6 MPa,测量精度一般可达 0.1%F. S.,广泛应用于建筑、交通、水电、大坝、隧道等工程领域的现场孔隙水压力监测。

(3) 振弦式测缝计(图 1-1c)。测缝计的量程可根据实际工程需要选用,常见量程有 20 mm,50 mm 及 100 mm,测量精度一般可达 0.1%F. S.,广泛应用于建筑、交通、水电、大坝、隧道等工程领域的现场表面变形监测。



a. 振弦式土压力盒



b. 振弦式孔压计



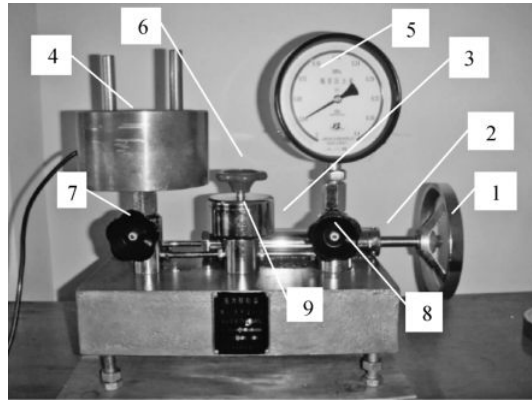
c. 振弦式测缝计

图 1-1 传感器实物图

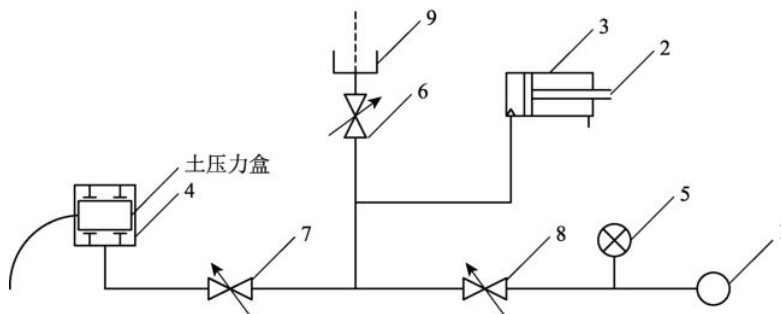
1.2.2 标定设备

1. 手摇式压力校验器

手摇式压力校验器用于振弦式土压力盒的标定,主要由 9 部分组成,如图 1-2a 所示。



a. 实物图



b. 原理示意图

1—摇手;2—活塞;3—油缸;4—压力盒固定器;5—压力表;
6—总油阀;7—压力盒油阀;8—压力表油阀;9—储油杯。

图 1-2 手摇式压力校验器

当手摇活塞推进时,油缸内的液压油流向压力盒端和压力表端或储油杯,如图 1-2b 所示。油的流向取决于三个油阀的开闭状态:当总油阀打开时,油流入储油杯,无法加载;当总油阀关闭,且压力盒油阀或压力表油阀打开时,油流向压力盒及压力表,进行加载。

当手摇活塞后退时,如果总油阀打开,则储油杯里的油进入油缸,起到油缸加油的作用;如果总油阀关闭,且压力盒油阀或压力表油阀打开,则压力盒端或压力表端的液压油流向油缸,进行卸载。

2. 液压标定台

液压标定台可用于振弦式土压力盒、孔压计等传感器的标定,主要由标定罐、手动试压泵、压力表及振弦式读数仪(或称为频率仪)组成(图 1-3)。

(1) 标定罐(图 1-3a)。罐体净尺寸一般为 $\phi 300 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$,用来存放待标定传感器和水。罐盖上设有压力表连接端(1 个)、传感器电缆线出口端(8 个)和手动试压泵连接端(1 个)。标定罐最高工作压力一般为 4.0 MPa。

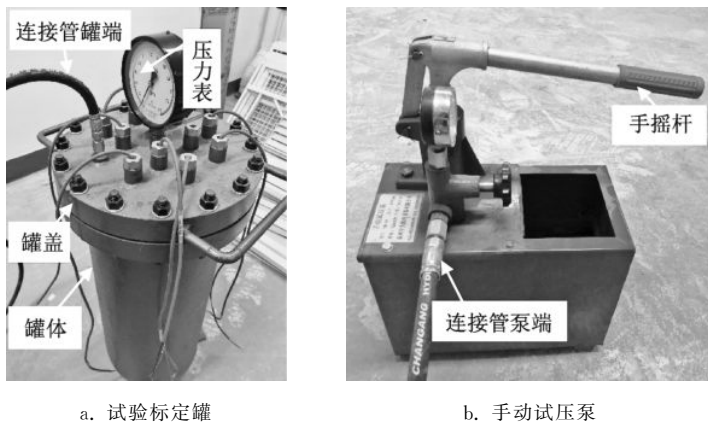


图 1-3 液压标定台实物图

(2) 手动试压泵(图 1-3b)。主要用来给标定罐提供压力源,得到传感器标定过程中所需的各级压力。

(3) 压力表。用于量测各级加压时标定罐内的压力,可根据传感器标定需要选择合适的精度和量程。

(4) 振弦式读数仪。用于标定过程中采集振弦式土压力盒及孔压计传感器在各级压力下的输出频率。扫频激励范围一般为 500~6 000 Hz,频率的测量分辨率为 0.1 Hz,模数的测量分辨率为 0.1 F,测量精度为 0.01%F. S.。

3. 测缝计标定台

测缝计标定台用于振弦式测缝计的标定,主要由手摇把、主框架、次框架、数显尺及测缝计固定端等组成(图 1-4)。标定范围为 0~250 mm,标定精度为 0.01 mm。

标定过程中,通过手摇把控制次框架在主框架上前后移动,次框架同时带动数显尺移动;测缝计的两端通过螺栓分别固定在主框架和次框架上;最后通过转动手摇把改变测缝计的伸缩长度。

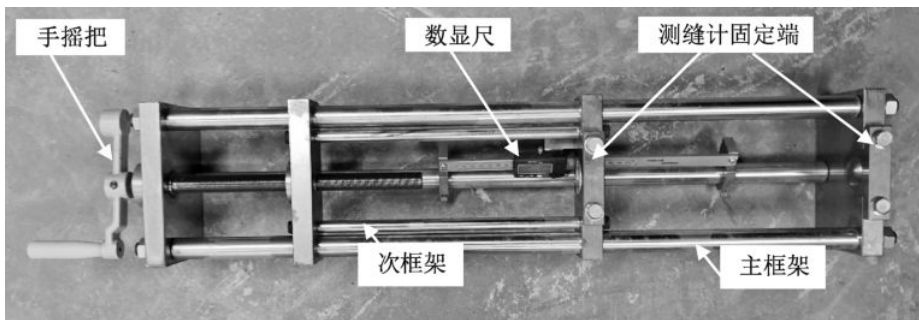


图 1-4 测缝计标定台实物图

1.3 实验操作与记录

1.3.1 操作步骤

1. 利用手摇式压力校验器标定振弦式土压力盒

(1) 测试无压频率。将土压力盒标定装置卸载至油压表读数为 0 MPa,使土压力盒处于无压状态,测量并记录土压力盒的输出频率 f_0 。

(2) 加载测试有压频率。根据土压力盒标定装置的油压表读数,按 0.02 MPa 分 10 级加载至 0.2 MPa,测量并记录土压力盒的输出频率 $f_i(i=1, 2, \dots, 10)$ 。

(3) 卸载测试有压频率。根据土压力盒标定装置的油压表读数,按 0.02 MPa 分 10 级卸载至 0 MPa,测量并记录土压力盒的输出频率 $f_i(i=1, 2, \dots, 10)$ 。

(4) 结束操作。将土压力盒标定装置完全卸载,确认总油阀、压力盒油阀和压力表油阀全部打开,压力表读数为零,将活塞推至零行程。

2. 利用液压标定台标定振弦式土压力盒及孔压计

(1) 将待标定的传感器放入标定罐体中,将传感器的电缆线头拉出罐体外,并向罐体内注满水。

(2) 将罐体法兰圈上“O”形密封槽清理干净,并放上“O”形密封圈,然后把罐盖立在罐体的法兰上,将传感器的电缆线头从罐盖上的出线口引出至罐盖外,并合上罐盖。

(3) 对准罐体法兰与罐盖周边的螺纹孔,用螺栓拧紧,同时在罐盖上的电缆出线口安装橡胶密封塞,并用压紧螺栓拧紧密封。

(4) 从罐盖的压力表连接端口向罐体内注水,直至连接管泵端口处出水,然后将连接管与手动压力泵连接并拧紧。

(5) 操作手动压力泵,向罐体内压水,直至压力表连接端口处冒水,并立即拧上相适应的压力表,此时采用振弦式读数仪测读并记录土压力盒或孔压计的初始输出频率 f_0 。

(6) 继续操作手动压力泵向标定罐体内加压,直至标定实验规定值后保持恒压,此时采用振弦式读数仪测读并记录土压力盒或孔压计的輸出频率 f_i 。

(7) 重复步骤(6),直至完成各级加载压力下土压力盒或孔压计输出频率的测读和记录,然后进行卸载,直至完成各级卸载压力下土压力盒或孔压计输出频率的测读和记录。

(8) 实验完毕后,先卸去压力值,再按照相应的步骤打开标定罐,取出传感器。

3. 利用测缝计标定台标定振弦式测缝计

(1) 转动手摇把,调节测缝计固定端之间的距离。

(2) 将测缝计安装在标定台上,并拧紧固定端的螺栓,以避免标定过程中测缝计与主、次框架端产生相对移动。

(3) 打开数显尺的红色电源开关,再按绿色“0”开关进行清零。

(4) 根据测缝计的量程确定标定时的各级伸缩量,转动手摇把以拉伸测缝计,至各级目标伸长量时,采用频率仪测读并记录相应的频率,即进程读数。

(5) 反方向转动手摇把以压缩测缝计,至各级目标压缩量时,采用频率仪测读并记录相应的频率,即回程读数。

(6) 标定完毕后,卸下测缝计。

1.3.2 实验记录

振弦式土压力盒及孔压计标定实验记录见表 1-1,振弦式测缝计标定实验记录见表 1-2。

1.4 实验成果整理

传感器标定实验的成果整理主要是将传感器的输入量和输出量绘制成标定曲线,或进一步通过拟合得到标定函数。

1.4.1 振弦式土压力盒和孔压计标定实验成果整理

振弦式土压力盒或孔压计所受压力 P 与其输出的钢弦频率值 f 的关系为

$$P = K(f_i^2 - f_0^2) \quad (1-2)$$

式中 P ——振弦式传感器所受的压力(MPa);

f_i ——振弦式传感器各级受压后钢弦的频率(Hz);

f_0 ——振弦式传感器未受压时钢弦的频率,即初始输出频率(Hz);

K ——标定系数(MPa/Hz²)。

振弦式传感器的标定即通过测试土压力盒或孔压计未加压时的输出频率 f_0 和一系列压力与频率数据组 (P_i-f_i), 进行线性回归求得标定系数 K 。

可按以下步骤进行成果整理:

(1) 计算各级荷载下输出频率 f_i 与初始输出频率 f_0 的平方差 x , 即

$$x = f_i^2 - f_0^2 \quad (1-3)$$

$$P = Kx \quad (1-4)$$

(2) 按式(1-4)进行线性回归,绘制标定曲线(图 1-5),分别求出加载时与卸载时对应的标定系数 K 。

(3) 比较加载时与卸载时标定系数 K 的差异,并分析原因。

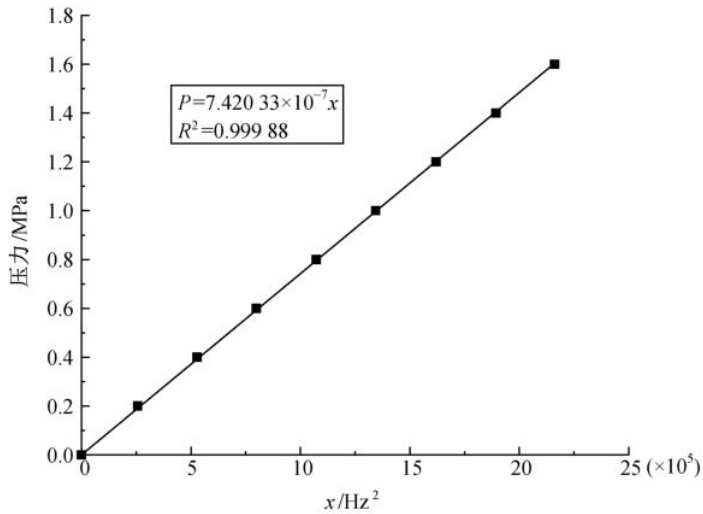


图 1-5 振弦式土压力盒标定曲线

1.4.2 振弦式测缝计标定实验成果整理

振弦式测缝计所量测的裂缝开合度 L 与其输出的钢弦频率 f 的关系为

$$L = K(f_i^2 - f_0^2) \quad (1-5)$$

式中 L ——传感器所量测的裂缝开合度或变形(mm);

f_i ——传感器各级受力后钢弦的频率(Hz)；

f_0 ——传感器未受力时钢弦的频率(Hz)；

K ——标定系数(mm/Hz²)。

振弦式测缝计的标定即通过测试测缝计未受力时的输出频率 f_0 和一系列裂缝开合度或变形与频率数据组 (L_i-f_i)，进行线性回归求得标定系数 K 。

可按以下步骤进行成果整理：

(1) 计算各级裂缝开合度或变形下的输出频率 f_i 与初始输出频率 f_0 的平方差 y ，即

$$y = (f_i^2 - f_0^2) \quad (1-6)$$

$$L = Ky \quad (1-7)$$

(2) 按式(1-7)进行线性回归，绘制标定曲线(图 1-6)，分别求出进程时与回程时的标定系数 K 。

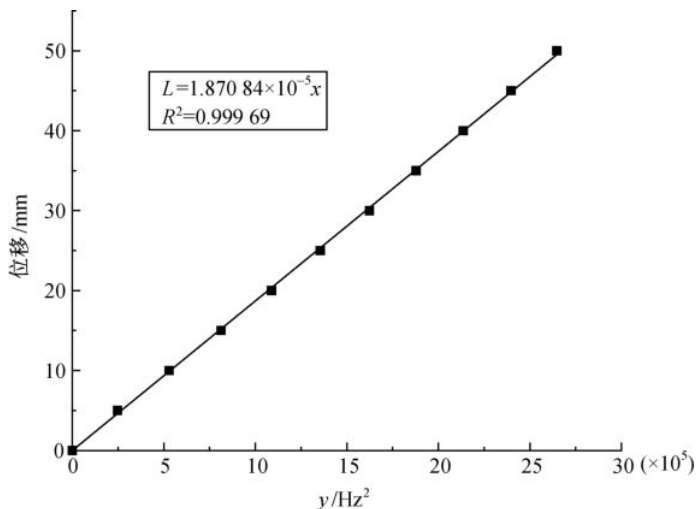


图 1-6 振弦式测缝计标定曲线