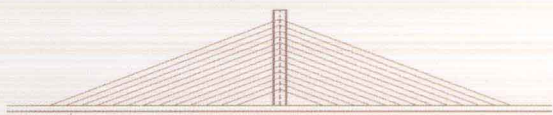
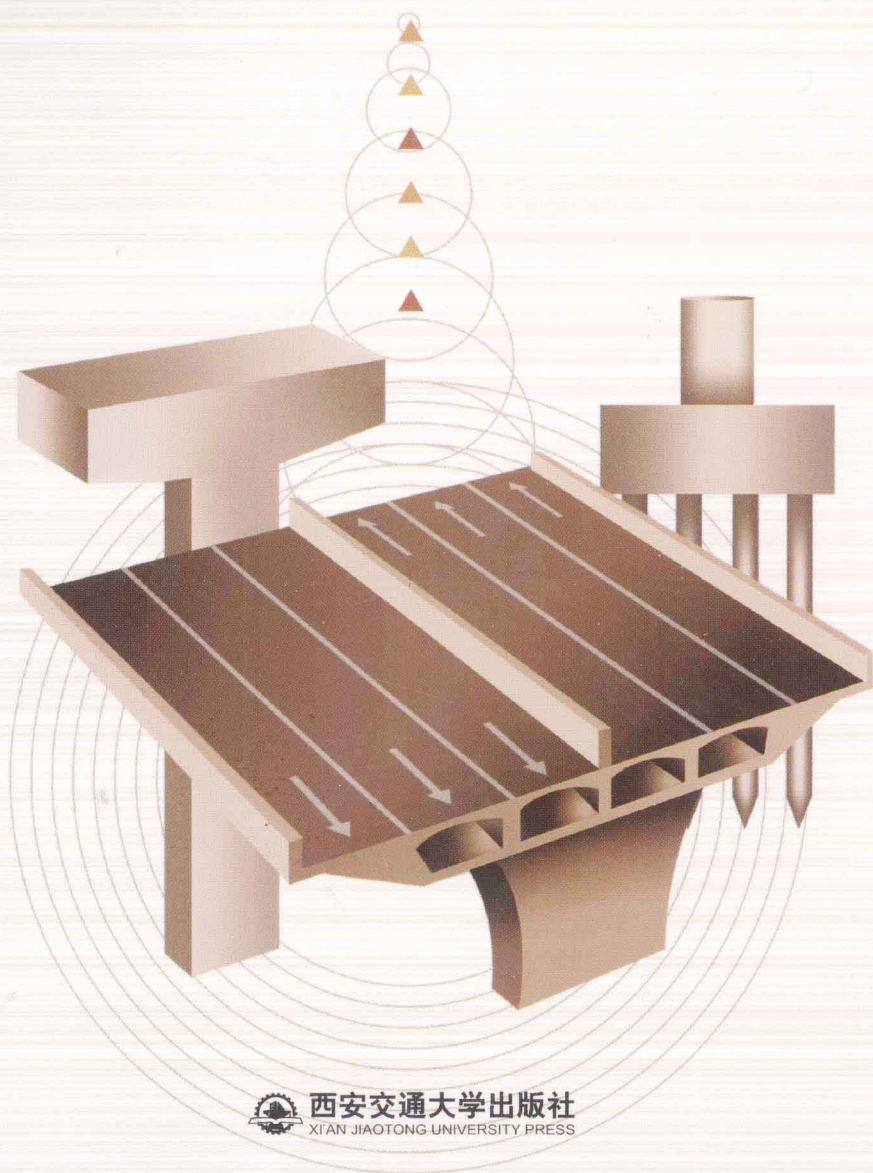


长安大学土木工程实验教学示范中心



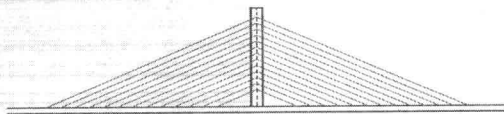
桥梁结构工程实验

王涛 邵丽霞 郑桥 编著



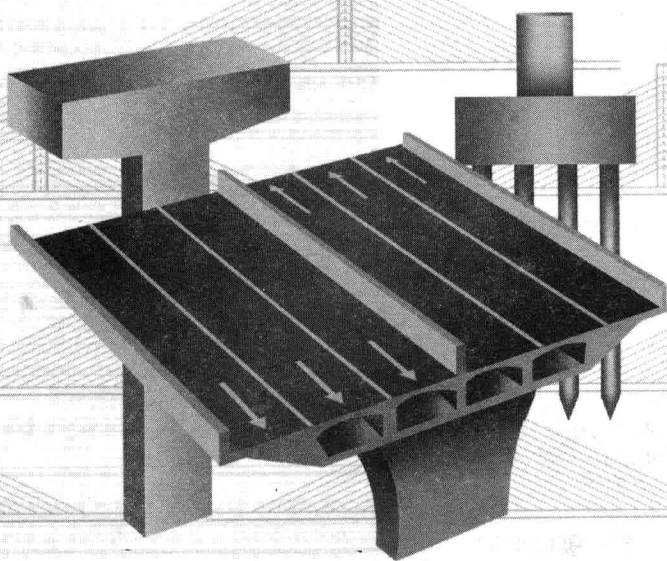
西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

长安大学土木工程实验教程



桥梁结构工程实验

王涛 邵丽霞 郑桥 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书分基本实验、结构实验和实验报告三部分,共 17 个实验项目,包括混凝土结构常用仪器设备操作实验和混凝土常规结构和桥梁模型实验,主要介绍各常规实验仪器设备的基本结构及性能、实验原理、实验操作方法及数据处理方法。在介绍实验原理和方法的同时,简明扼要地阐述实验过程中的仪器操作要点及注意事项,使学生在了解实验知识的同时,加深对实验方法的掌握。

本书既可作为高等院校土木工程、道路工程、桥梁工程、隧道工程等专业的本科生“结构设计原理”课程和“桥梁工程”课程的实验指导用书,又可供相关专业技术人员培训或自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁结构工程实验/王涛,邵丽霞,郑桥编著.

—西安:西安交通大学出版社,2013.7

ISBN 978-7-5605-5450-1

I. ①桥… II. ①王… ②邵… ③郑… III. ①桥梁结构-结构工程-工程试验 IV. ①U443-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 164880 号

书 名 桥梁结构工程实验
编 著 王 涛 邵丽霞 郑 桥
责任编辑 王 欣

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西元盛印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 10.625 字数 255 千字
版次印次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-5450-1/O·13
定 价 19.60 元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlg@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

Foreword 前言

桥梁结构工程实验是一个重要的实践性教学环节,是一项综合性专业能力训练,与“结构设计原理”和“桥梁工程”课程的学习密不可分。

为了适应近些年实验室建设快速发展的形式,同时保证学生独立、系统、完整地实验内容,并取得良好的教学效果,根据教学大纲要求,我们特编写《桥梁结构工程实验》,本书是保证学生按照实验要求顺利完成实验内容的指导性教材。

本实验课程在学习桥梁工程专业相关知识的基础上,结合现今桥梁结构工程检测的众多实验,主要介绍桥梁结构工程的相关实验,包含基本实验和结构实验两部分内容,其中基本实验 11 个,结构实验 6 个。各个实验主要介绍实验目的、实验内容、实验仪器和器材、实验方法及步骤、实验数据处理和注意事项等内容,每个实验最后还都留有思考题供学生课后思考学习。

本指导书在编写过程中得到长安大学实管处、公路学院的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏和不当之处,请读者批评指正。

编 者

2013 年 6 月

Contents 目录

绪 论	(1)
-----	-----

第一部分 基本实验

实验一 裂缝宽度观测仪标定与使用	(3)
实验二 百分表的标定与使用	(5)
实验三 钢筋直径/保护层厚度测试仪的使用	(8)
实验四 电阻应变片的粘贴实验	(16)
实验五 静态电阻应变仪操作实验	(21)
实验六 混凝土碳化深度检测实验	(31)
实验七 回弹法测定混凝土强度	(34)
实验八 钻芯法测定混凝土强度	(43)
实验九 超声法检测混凝土强度	(47)
实验十 超声回弹综合法检测混凝土强度	(51)
实验十一 超声法检测混凝土缺陷	(53)

第二部分 结构实验

实验十二 T形梁桥荷载横向分布系数实验	(67)
实验十三 无铰拱桥模型受力分析实验	(70)
实验十四 钢筋混凝土柱偏心受压破坏实验	(73)
实验十五 钢筋混凝土适(超)筋梁受弯实验	(76)
实验十六 桥梁结构静力荷载实验	(79)
实验十七 桥梁结构基本动力参数测试实验	(86)

第三部分 实验报告

实验一 裂缝宽度观测仪标定与使用	(89)
实验二 百分表的标定与使用	(91)

实验三	钢筋直径/保护层厚度测试仪的使用	(93)
实验四	电阻应变片的粘贴实验	(95)
实验五	静态电阻应变仪操作实验	(97)
实验六	混凝土碳化深度检测实验	(99)
实验七	回弹法测定混凝土强度	(103)
实验八	钻芯法测定混凝土强度	(107)
实验九	超声法检测混凝土强度	(111)
实验十	超声回弹综合法检测混凝土强度	(113)
实验十一	超声法检测混凝土缺陷	(117)
实验十二	T形梁桥荷载横向分布系数实验	(123)
实验十三	无铰拱桥模型受力分析实验	(127)
实验十四	钢筋混凝土柱偏心受压破坏实验	(133)
实验十五	钢筋混凝土适(超)筋梁受弯实验	(139)
实验十六	桥梁结构静力荷载实验	(145)
实验十七	桥梁结构基本动力参数测试实验	(153)
附表	回弹法测区混凝土强度换算表	(157)

绪 论

一、课程内容

“结构设计原理”和“桥梁工程”课程的学习与实验密不可分。本实验课程在学习桥梁工程专业相关知识的基础上,根据教学大纲要求,结合目前桥梁结构工程检测的众多实验,主要介绍桥梁结构工程的相关实验方法,包含基本实验和结构实验两大部分实验内容。

二、课程目的

本实验课程的教学目标是培养学生动手能力,了解众多桥梁结构工程实验的目的、内容、依据,掌握桥梁上、下部结构实验的基本原理、仪器设备和操作方法,熟悉现代桥梁结构工程实验方法,巩固所学桥梁方面的专业知识,同时为以后从事桥梁实验、检测等相关方面工作打下坚实基础。

三、实验注意事项

为了确保人身、实验仪器和实验设备安全,保证实验的顺利进行,达到预期的目的,必须注意以下几点。

1. 做好实验前的准备工作

- (1)预习实验指导书,明确本次实验的目的、方法、步骤和注意事项;
- (2)预习与本次实验有关的基本原理和其他有关参考资料等;
- (3)对实验中所用到的仪器、设备,实验前应有一定的熟悉和了解;
- (4)必须清楚地知道本次实验所需记录的项目及数据处理方法,事先做好记录表格等准备工作;

(5)除了解指导书中所提方案外,应多设想一些其他方案。

2. 遵守实验室的规章制度

- (1)严肃认真,保持安静;
- (2)爱护设备及仪器,严格遵守操作规程;
- (3)非本次实验所用设备及仪器切勿随意动用;
- (4)实验完毕后,应将设备和仪器擦拭干净,并恢复到原来正常状态。

3. 认真做好实验

- (1)认真听取教师讲解;

(2)清点有关实验用设备、仪表和器材;

(3)应以严谨科学的态度,认真细致地按照要求的实验方法和步骤进行;

(4)对于带电或贵重的设备及仪器,在接线或布置完成时,应经教师检查通过后,方可开始实验;

(5)实验过程中,应密切观察实验现象,随时进行分析,若发现异常,应及时向老师报告;实验过程还应注意采取防护措施,确保人身、仪器和设备的安全;

(6)记录下全部所需测量数据,以及仪器型号、精度、量程、试件的尺寸、材料标号、保护层厚度、钢筋含量和规格等;如果实验结果与温度有关,还应记录温度、湿度等;应有实事求是的态度和严谨的科学作风,不得对原始数据随意进行修改;

(7)教学实验是培养学生动手能力的一个重要环节,在实验小组中虽有一定分工,但每个学生都必须自己动手,相互交流,完成全部实验环节;

(8)如学生希望观察一些与本实验有关的其他现象,或用另外方案进行实验,在完成本实验规定项目后,经教师同意可以进行。

4. 写好实验报告

实验报告是实验的总结,通过对它的书写,可以提高分析问题的能力,因此必需独立完成。报告要求整洁清楚,要有分析和自己的观点,并进行讨论。

一般实验报告应具有下列内容:

(1)实验名称,实验日期,实验者及同组成员;

(2)实验目的;

(3)实验的基本原理、方法和步骤;

(4)设备和仪器型号、精度、量程等;

(5)实验数据及其处理(应包括全部原始数据,并注明测量单位,最好以表格形式列出数据的运算过程,并根据数据处理和误差分析的要求给出实验误差),将所得的实验结果做出曲线或给出经验公式;

(6)应根据实验结果及实验中观察到的现象,结合基本原理进行分析讨论,如实验涉及的问题有理论解,则应与计算结果进行比较,并提出见解。

第一部分 基本实验

实验一 裂缝宽度观测仪标定与使用

一、实验目的

- (1)掌握裂缝宽度观测仪的使用方法；
- (2)掌握裂缝宽度观测仪的标定方法；
- (3)能够使用裂缝宽度观测仪对实际裂缝进行观测。

二、实验器材

- (1)裂缝宽度观测仪(见图 1-1-1,主要由手持彩色液晶屏主机和显微放大测量头构成)；
- (2)存在多条不同宽度裂缝的混凝土试件。



图 1-1-1

三、实验仪器性能及使用方法

1. 技术参数(见下表)

测量头规格	1 mm	2 mm	3 mm
测量范围/mm	0.01~1.00	0.02~2.00	0.03~3.00
最小刻度/mm	0.01	0.02	0.03
估读精度/mm	0.005	0.01	0.015

2. 软件测量

相对精度优于 5%；

使用电压：主机——3.7V 锂电池；测量头——12V 锂电池；

尺寸：主机 $98 \times 80 \times 18$ ，测量头 $36 \times 34 \times 58$ ；

重量：主机 150 g，测量头 120 g。

3. 仪器标定原理

4

将测量头的两尖脚对准校验刻度板上下边缘的两条基准线，在屏幕上即可看到标准刻度的 2 mm 刻度线。调整测量头的位置，使放大后标准 2 mm 刻度的图像与屏幕上 2 mm 刻度线重合，若误差不超过 0.02 mm，则说明仪器放大倍数属于正常使用范畴，无需标定。

4. 使用方法

将测量头的两尖脚紧靠被测裂缝，即可在液晶屏上看到被放大的裂缝，微调测量头的位置使裂缝尽量与刻度基线垂直，根据裂缝所占刻度线的多少判读出裂缝宽度。

四、实验步骤

- (1) 对裂缝宽度观测仪进行标定，使其满足正常使用要求。
- (2) 用裂缝宽度观测仪测量混凝土试件不同裂缝的宽度。

五、实验数据处理

在实验过程中记录每条裂缝的宽度，实验结束后整理所有实验数据。

六、注意事项

在读取裂缝宽度时，应确保液晶屏上裂缝与刻度基线垂直，以减小测量误差。

七、思考题

- (1) 使用裂缝宽度观测仪时应注意哪些问题？
- (2) 在实际桥梁检测中，由于桥下净空过高等原因限制，导致测量人员无法接触梁底时，该如何观测主梁底部裂缝宽度？

实验二 百分表的标定与使用

一、实验目的

- (1)掌握百分表的标定方法;
- (2)掌握百分表的工作原理和使用方法;
- (3)能够使用百分表测量构件位移。

二、实验器材

- (1)机械式百分表;
- (2)磁性表座;
- (3)支架;
- (4)混凝土梁试件;
- (5)液压千斤顶及手动油泵。

三、实验仪器性能及使用方法

1. 仪表性能

百分表是用来测量位移和变形的仪表。它的量程一般为 10 mm、30 mm 和 50 mm,最小刻度为 1/100mm。主要由表体部分、传动系统和读数装置三部分组成,其基本构造见图 1-2-1。

2. 仪器标定方法

仪器标定时从受检表零刻线开始,0~10 mm 测量段内,每 20 个分度检一点,10 mm 以上的测量段内 50 个分度检一点,直至工作行程终点。然后继续压缩受检表 20 个分度,再反方向检定各受检点,直至回到零位,如图 1-2-2 所示。

3. 百分表安装

使用时,百分表装在表座上(目前大都采用磁性表座),表架安装在临时专门搭设的支架上。支架应具有一定的刚度,并与被测结构物分开,如图 1-2-3 所示。

4. 量测变形

将测杆触头抵在测点上,借助弹簧,使其接触紧密。当测点沿测杆方向(或背向)发生位移时,推动(或放松)测杆,使测杆的平齿带动小齿轮,小齿轮又和与它同轴的大齿轮一起转动,最后使指针齿轮和指针旋转,经过一系列放大之后,便在表盘上指示出位移值。

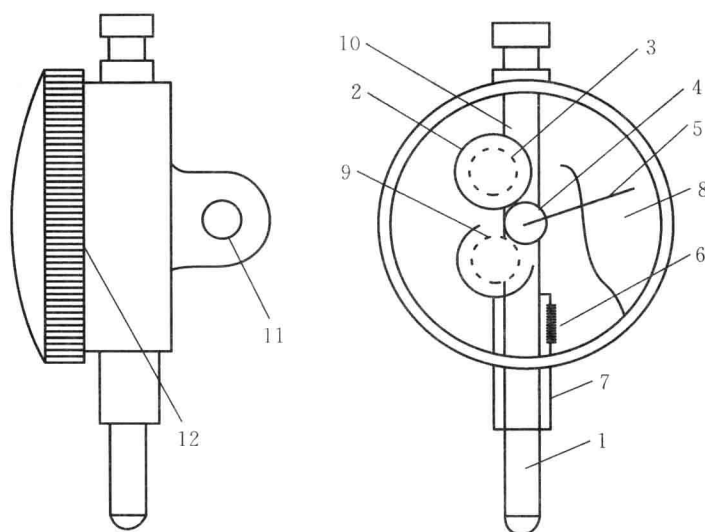


图 1-2-1

1—测杆;2—小齿轮;3—扇形齿轮;4—中央齿轮;5—长针;6—弹簧;
7—轴颈;8—躯体;9—扇形齿轮;10—平齿;11—孔环;12—表盘

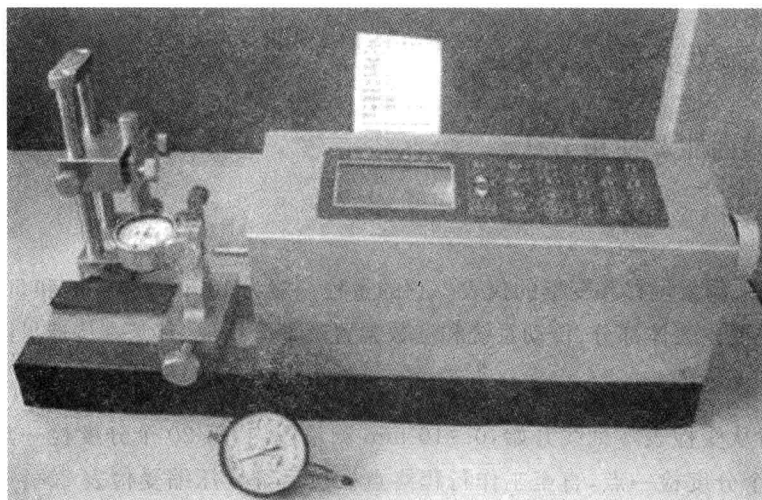


图 1-2-2

四、实验步骤

(1) 对百分表进行标定,使其满足正常使用要求。

(2) 将百分表安装在磁性表座上,再将磁性表座安装在支架上,百分表的测杆触头抵在混凝土梁的跨中部位。

(3) 通过手动油泵进行加载。本实验采用分级加载的方式,通过百分表读出混凝土梁在不

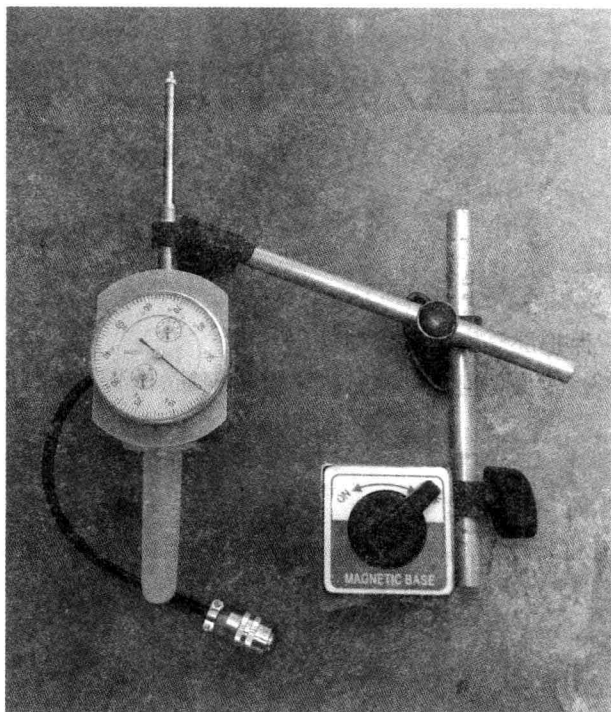


图 1-2-3

同荷载作用下跨中部位的竖向位移。

五、实验数据处理

实验过程中记录各级外荷载作用下百分表相应的读数,实验结束后整理所有实验数据。

六、注意事项

(1)百分表的测杆触头在抵住测点时,需注意测杆回缩量不能太大,以防还未加载结束,百分表已超限。

(2)测量时应确保百分表的测杆垂直于被测试件的表面,试件被测点处应平整光滑。

七、思考题

(1)使用百分表时应注意哪些问题?

(2)测量时为何不将百分表直接固定在混凝土梁试件上?

(3)测量时支架为何要与被测结构物分开? 如果支架与被测构件连接在一起对测量结果有什么影响?

实验三 钢筋直径/保护层厚度测试仪的使用

一、实验目的

- (1) 掌握钢筋直径/保护层厚度测试仪的使用方法；
- (2) 能够使用钢筋直径/保护层厚度测试仪来定位钢筋、检测保护层厚度和钢筋直径。

二、实验器材

- (1) Profometer5 型钢筋直径/保护层厚度测试仪(见图 1-3-1, 主要由显示器、路径感应轮和多功能探头构成)。
- (2) 钢筋混凝土试件。

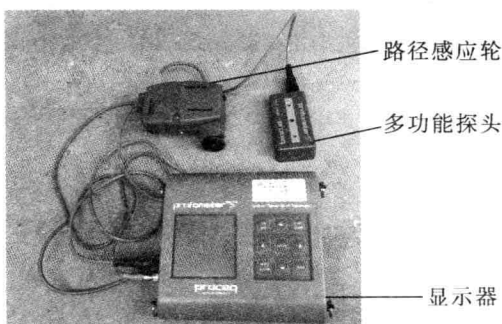


图 1-3-1

三、实验仪器性能及使用方法

1. 仪器描述

Profometer5 是一种轻便、精巧的仪器,能无损地检测钢筋的位置、保护层厚度和钢筋直径,检测方法基于涡流和脉冲原理,分为 S 型和 Scanlog 型两种型号。

(1) 多功能探头:多功能探头的使用具有方向性,当它与钢筋轴向平行时最灵敏,与钢筋轴向垂直时最不灵敏,故使用时探头方向应该和钢筋轴向平行。多功能探头有小范围和大范围之分,使用 $\longleftrightarrow$ 箭头可以在两种检测范围之间切换。此外,多功能探头能自动补偿混凝土中磁性骨料或特种水泥磁性成分的影响。

(2) 路径感应轮:对于 Scanlog 型,路径感应轮可以用来做网格扫描和灰度显示,而对 S 型,它只能用于夹带多功能探头(可使多功能探头免于直接与表面接触而受损),无其他功能。

2. 技术参数

- (1) 带不丢失内存, 可存储 63 个编号, 共计 40000 个测试值;
- (2) 128×128 的 LCD 数字显示器;
- (3) 带 RS-232 接口;
- (4) 打印统计值和下载到 PC 机的软件;
- (5) 6 节 LR6、1.5V 电池, 操作时间为 45 小时;
- (6) 工作温度为 -10~60℃。

3. 仪器设置

Profometer5 有菜单辅助功能, 按照显示屏上的菜单操作即可。按“MENU”键, 出现如图 1-3-2 所示界面。



图 1-3-2

(1) 钢筋直径: 测保护层厚度时, 要先设置钢筋直径。将黑色光标移到第 1 项“Bar Diameter”上, 按 START 进入该选项。按 ↑ ↓ 键调整钢筋直径, 直径范围为 2~50mm。

(2) 编号: 测试前先设定编号, 根据检测方式的不同编号的首位也不相同。

- a. 使用“Measure w. Statistic”(数字方式)检测, 第一个数值设为 1;
- b. 使用“Scanning Bar”(扫描钢筋成像)检测, 第一个数值设为 2;
- c. 使用“Measure w. Grid”(灰色方块方式)检测, 第一个数值设为 3。

(3) 保护层下限值: 该功能主要有三个作用: 拆摸后的检查、结构工程的验收和提供修缮的评价基础。

(4) 临近钢筋影响修正: 当钢筋间距与保护层厚度不满足一定的要求时, 则要输入钢筋间距进行钢筋间距修正, 以便得出正确的结果。

(5)基本设置:在基本设置中又有5个子菜单:

- Unit(单位)——有 mm 和 inch(英寸)两种选择
- Probe(探头)——将此值设为探头上所标的数字
- Audible locating aid(声音帮助)——提示遇到钢筋
- Scan Area(扫描面积)——有 500 mm × 500 mm, 1000 mm × 1000 mm, 2000 mm × 2000 mm 可选
- XYgrid(XY 方格)——灰度检测方式下,为每个灰度块代表多大的面积
- Display(灰度显示)——可改变保护层相应的灰度色块

(6)数据输出:进入数据输出选项,出现4个子选项:

- Object Select(选择要显示编号)——传输数据前,先用 Object Select 选择要显示的编号
- Object Display(显示所选择的编号)
- Object Print(打印)——Print Object 打印,用带串口的商用打印机打印统计值,用打印机连线(33000460)传输数据
- Object to PC(数据传输到电脑)——以 Excel 格式传输,用传输线(33000269)传输
- Clear Memory(清除内存)——清除所有内存,不能单个删除

(7)用数字方式检测(详见“四、实验方法及步骤”)。

(8)用扫描方式检测(本方式只能在 Scanlog 型上使用,详见“四、实验方法及步骤”)。

(9)用灰度显示保护层厚度检测(本方式只能在 Scanlog 型上使用,详见“四、实验方法及步骤”)。

四、实验方法及步骤

1. 用数字方式检测

这个功能能够被用于定位钢筋、测试保护层厚度和钢筋直径。保护层厚度值可被储存在预设的编号中。

(1)用铁丝连接的钢筋检测

① 仪器设置:

- a. 输入钢筋直径;
- b. 输入编号;
- c. 输入是否要声音帮助定位;
- d. 如果钢筋间距太小,要进行修正,在“Neighb. Bar Corr”中输入钢筋间距;
- e. 按“MENU”键,选择“Measure w. Statistic”。

② 复位操作:将探头放在空气中(远离钢筋 1 m 左右),按下“START/RESET”键。当信号条显示达到最小值或检测范围显示到达最大范围,并且当前保护层厚度示值为 0 时,复位过程完成。

③定位钢筋和检测保护层厚度:

a. 沿垂直钢筋轴向方向移动探头,如果信号条向右边增长,且保护层数字变小,则说明探头正邻近钢筋;如果信号条向左边减小,且保护层数字变大,则说明探头正远离钢筋;当信号由小变大再变小,即产生一个突变时,仪器会发出短促的声音,并且最小的数字即混凝土保护层会自动存在“Memo”中。若信号条变化慢,则说明探头沿着钢筋轴向方向移动,应改变方向,沿垂直钢筋轴向方向移动探头。

b. 当声音辅助定位“Variotone”被打开后(“MENU”→“Basic Setups”→“Audible locating aid”)当探头接近钢筋时,声音的频率会发生变化。在这种操作模式下,保护层厚度同样临时存放在“Memo”中。

c. 钢筋方向可以根据探头沿着其轴向方向移动时被确定。尽量保持其信号值和当前保护层厚度不变。

④ 存储检测值:

a. 按 STORE 键可存储 Memo 中的值;

b. 用↓键可删除该数值,或当同一个编号下有几个值时,删除最后一个值;

c. 按 END 键显示所存储的记忆值的统计评价(平均值、方差等);

d. 如果设置了最小保护层厚度,则小于最小保护层厚度的百分比会显示出来。

(2)检测焊接加固钢筋网

本仪器不能确定一根钢筋与其他钢筋是否是焊接网或绑扎在一起的。同样尺寸的这两种方式固定的钢筋产生的信号不同。

① 仪器设置:

a. 进行与用铁丝连接的钢筋检测相同的设置步骤;

b. 设置的钢筋直径必须比实际钢筋直径稍高,决定于钢筋直径的大小和钢筋网的宽度;对于特殊结构,该值应该通过测试来确定;使用不同的间距来测保护层厚度,当保护层厚度正确时,就设置该钢筋直径;

c. 选择小的检测范围,大的检测范围不能检测钢筋网。

② 复位操作。

③定位钢筋和检测保护层厚度。

④ 存储检测值。

2. 检测钢筋直径

(1)选择“Measure w. Statistic”(数字检测方式)。

(2)按“RESET”键复位。

(3)将探头放在钢筋轴向的上方,然后按“↑”。

(4)所测得的钢筋直径 $d = \dots$ 就会在屏幕上显示出来。

当钢筋间距不满足表 1-3-1 的要求时,则要进行钢筋间距修正,以便得出正确的结果。