

---

# 《建筑结构试验》

## 实验指导书

大连理工大学土木水利学院结构试验室

---

## 目 录

试验注意事项	.....
试验一	.....3
试验二	.....8
试验三	.....14
试验四	.....16
试验五	.....19
附录	.....24

---

## 试验注意事项

为了确保试验的顺利进行、达到预定目的，应做到以下几点：

### 一、 做好试验前准备工作

- 1、预习试验指导书，明确本次试验的目的、方法、步骤和注意事项。
- 2、预习与本次试验有关的基本原理和其它有关参考资料等。
- 3、对试验中所用到的仪器、设备，在试验前应有一定的熟悉和了解。
- 4、必须清楚地知道本次试验所需记录的项目及数据处理的方法，事先做好记录表格等准备工作。
- 5、除了解指导书中所提及的方案外，应多设想一些其他方案。

### 二、 遵守试验室的规章制度

- 1、遵守纪律，注意安全，严肃认真，保持安静。
- 2、爱护仪器设备，严格遵守操作规程。
- 3、非本次试验所用设备和仪器，未经允许切勿随意动用。
- 4、试验完毕后，应将仪器和设备擦拭干净，并恢复到原来的正常状态。

### 三、 认真做好试验

- 1、认真听取指导教师的讲解。
- 2、清点有关试验用设备、仪表和器材。
- 3、应具有严格的科学作风，认真细致地按要求的试验方法和步骤进行。
- 4、对于带电和贵重的仪器和设备，在接线或布置完成时，应经教师检查通过后，方可开始试验。
- 5、试验过程中，应密切观察试验现象，随时进行分析，若发现异常应及时报告，试验过程还应注意采取防护措施，确保人身、仪器和设备安全。
- 6、记录下全部所需测量数据、仪器型号、精度、量程、试件尺寸、材料标号、保护层厚度、钢筋含量和规格等。如果试验结果与温度有关还应记录温度和湿度等环境条件。原始数据不得随意改动。
- 7、教学试验是培养学生动手能力的一个重要环节，在试验小组中虽然有一定分工，但是每个学生都必须自己动手，相互交流，完成全部试验环节。
- 8、如果学生希望观察一些与本试验有关的其他现象，或用另外方案进行试验，在完成本试验规定项目后，经教师同意后方可进行。

### 四、 写好试验报告

试验报告是试验工作的总结，通过对他的撰写，可以提高试验者分析问题和解决问题的能力，因此必须独立完成。报告要求条理清楚，总结全面，图表合适，表述明白，要有对试验现象的分析和自己的观点，并进行讨论。

一般试验报告应具有下列内容：

- 1、试验名称，试验日期，试验者及同组成员。
- 2、试验目的。
- 3、试验的基本原理、方法及步骤。
- 4、设备及仪器编号、精度、量程等。
- 5、试验数据及处理（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试验的误差）。最后将所得的试验结果做出曲线或给出经验公式。
- 6、讨论。应根据试验结果及试验中观察到的现象，结合基本原理进行发现讨论，如果试验涉及的问题有理论解，则应与计算结果进行比较并提出个人的见解。

# 试验一 电阻应变计测量应变技术

## 一、 试验目的

- 1、熟悉各种应变测试仪器的操作方法。
- 2、学习和掌握利用电阻应变计测量构件应变值的半桥及全桥测量的接线方法。

## 二、 试验设备及器材

- 1、等强度梁及砝码。
- 2、静态电阻应变仪；DH3815 采集系统；UCAM-10B。
- 3、电阻应变片；502 粘结剂；电烙铁；导线。
- 4、百分表等。

## 三、 试验原理及方法

静态电阻应变仪的读数有下列关系：

$$\varepsilon_{\text{仪}} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

式中  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ 、 $\varepsilon_4$  分别为各桥臂应变片的应变值。

试验中，采用的试件为悬臂的等强度梁，测量在其自由端施加集中力时的弯曲应变。等强度梁的截面高度是不变的，而梁宽随加载点与被测截面的距离呈线性变化即  $b=dx$ 。因此等强度梁上下表面应力（绝对值）为：

$$\sigma_x = \frac{M}{W} = \frac{PX}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{6P}{ah^2}$$

即上下表面的应力沿轴向是均等的，不随位置而变化。

在等强度梁上 1 上下表面沿轴向个布置 2 个应变片上表面  $R_1$ 、 $R_3$ ；下表面  $R_2$ 、 $R_4$ ；另外在另设的温度补偿钢板上布置有  $R_5$ 、 $R_6$  两个温度补偿用应变片。利用这些应变片可以组成多种不同的测量桥路。

电桥的基本接法有两种：半桥接法和全桥接法。

### 1、 半桥接线与测量

1)、如果应变片  $R_1$  接于应变仪 AB 接线柱，温度补偿应变片  $R_5$  接于 BC 接线柱，则构成外半桥，另外半桥由应变仪内部两个无感绕线电阻构成，应变仪读出的应变值为：

$$\varepsilon_{\text{仪}} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_5) = (\varepsilon_{1m} + \varepsilon_{1t}) - (\varepsilon_{5m} + \varepsilon_{5t})$$

而  $\varepsilon_{1t} = \varepsilon_{5t}$ ； $\varepsilon_{5m} = 0$ ； $\varepsilon_{1m} = \varepsilon_m$  则

$$\varepsilon_{\text{仪}} = \varepsilon_m$$

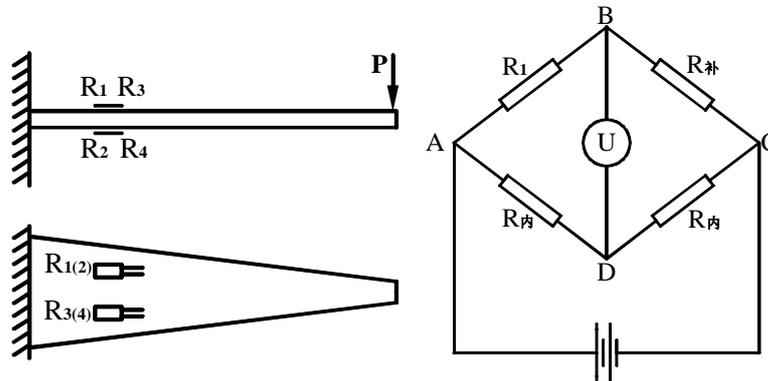


图 2-1 弯曲应变半桥单补偿接线与测量

每一个应变片反映出的应变值包含荷载作用和温度影响两部分，按迭加原理可以写成  $\varepsilon = \varepsilon_f + \varepsilon_t$ ，下标 f、t 分别表示荷载和温度。

2)、这里以工作片互为温度补偿，而读数为实际应变的两倍，灵敏系数提高 2 倍。

$$\varepsilon_{\text{仪}} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = (\varepsilon_{1f} + \varepsilon_{1t}) - (\varepsilon_{2f} + \varepsilon_{2t})$$

而  $\varepsilon_{1t} = \varepsilon_{2t}$ ;  $\varepsilon_{2f} = -\varepsilon_{1f} = \varepsilon_m$  则

$$\varepsilon_{\text{仪}} = 2\varepsilon_m$$

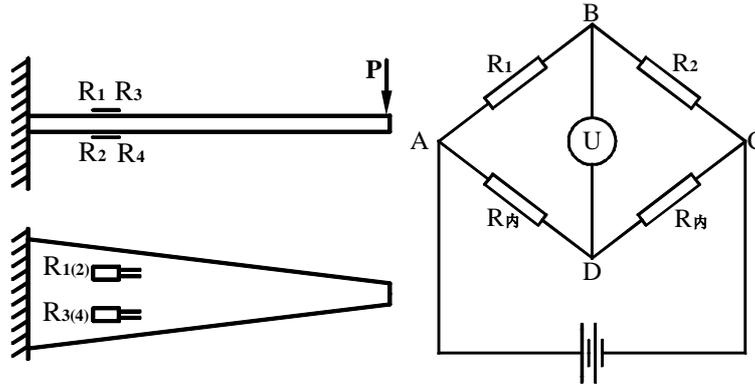


图 2-2 弯曲应变半桥互补补偿接线与测量

## 2、全桥接线与测量

1)、两个工作片与两个补偿片，灵敏度提高 2 倍。

$$\varepsilon_{\text{仪}} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = 2\varepsilon_m$$

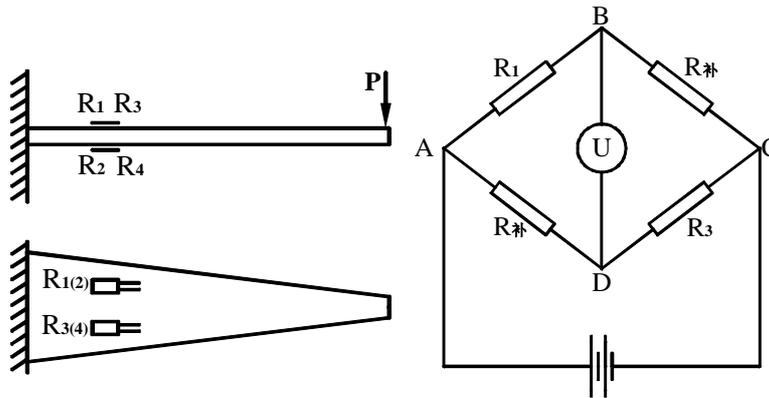


图 2-3 弯曲应变半桥单补偿接线与测量

2)、四个桥臂都是工作片，灵敏度提高 4 倍。

$$\varepsilon_{\text{仪}} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = 4\varepsilon_m$$

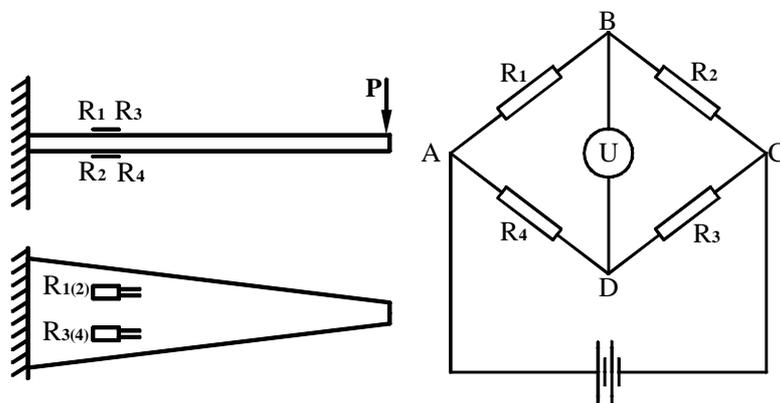


图 2-4 弯曲应变全桥互补补偿接线与测量

### 一、 试验步骤

- 1、分别按上述 4 种接法接通桥路，试件采用等强度梁。
- 2、首先在初始荷载（即零荷载）下将应变仪预调平衡。
- 3、试验前，先作 1~2 级预加载试验，每级  $P=5N$ 。通过预加载试验检查仪器和各种装置，所发现问题都应逐一加以解决，之后所有仪器读出初始读数。
- 4、仪器测读，应按一定的时间间隔进行，全部测点读数时间必须基本相等，只有同时得到的数据才能说明结构在某一状态下的实际情况。
- 5、正式试验，利用标准砝码加载，每级加载按表中给定值施加；将各级荷载下相应的应变仪读数分别记录在表 1—1 和表 1—2 中，并重复三次，并计算平均值。
- 6、整理出试验数据，并比较应变仪读数与接桥的关系。

表 1-1 试验数据记录表

接法		半桥接法 (1) 单点外补偿					半桥接法 (2) 工作片互补				
次序	荷载 N 应变	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30
1	$\varepsilon \mu$										
2	$\varepsilon \mu$										
3	$\varepsilon \mu$										
平均值 ( $\varepsilon \mu$ )											

表 1-2 试验数据记录表

接法		全桥接法 (1) 2 工作片 2 补偿片					全桥接法 (2) 4 工作片互补				
次序	荷载 N 应变	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30
1	$\varepsilon \mu$										
2	$\varepsilon \mu$										
3	$\varepsilon \mu$										
平均值 ( $\varepsilon \mu$ )											

### 六、 试验报告

- 1、按试验要求整理出各种测量数据，并作应变仪按半桥和全桥接线的测量关系比较。
- 2、讨论不同桥路接法的优缺点和使用条件。
- 3、画出每种接法的  $P-\varepsilon \mu$  曲线图。
- 4、分析理论值与实测值的差异原因。

## 试验二、钢桁架的静力试验

### 一、试验目的

- 1、学习和掌握几种常用仪器、仪表的性能、安装和使用方法。
- 2、通过对桁架节点位移、支座沉降、杆件内力的测量以及对测量结果的处理分析，掌握静力非破坏试验的基本过程，对桁架结构的工作性能作出分析，并验证理论计算的准确性。

### 二、试验设备和仪器

- 1、钢桁架。
- 2、手动千斤顶。
- 3、荷载传感器及电阻应变仪。
- 4、静态应变采集系统及应变片。
- 5、百分表、磁性表座米尺、游标卡尺等。

### 三、试验装置

钢桁架及荷载试验装置见图 4—1。

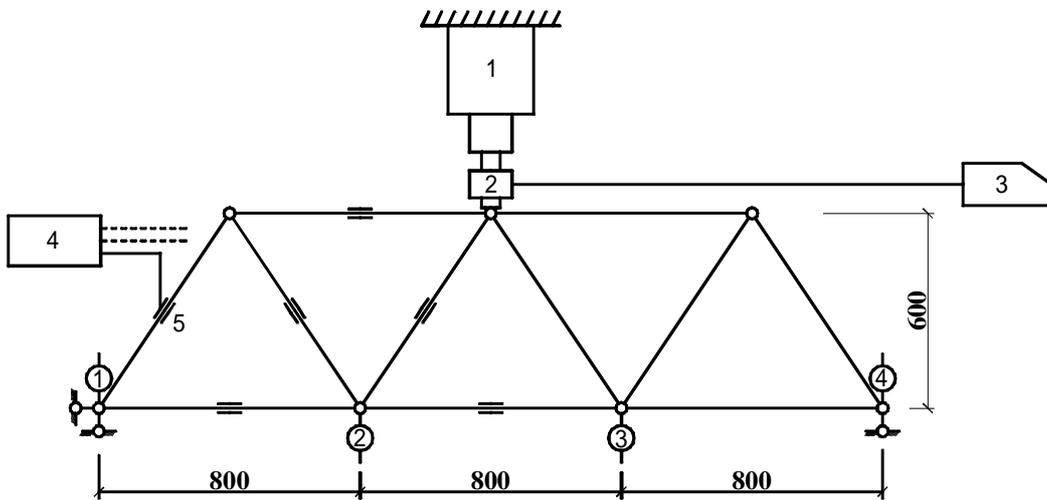


图 4—1 钢桁架试验装置图

图中 1—千斤顶；2—荷载传感器；3—应变仪；4—应变采集系统；5—应变片；

① ② ③ ④ 分别为百分表。

图中杆件两侧均贴有  $120\ \Omega$  的应变片，可测出对应杆件的应变值。百分表①和④分别测量桁架在加载过程中的支座沉降；百分表②和③分别测量桁架下弦节点的挠度。

### 四、试验方案

桁架试验一般多采用垂直加荷方式，由于桁架出平面刚度较弱，安装时必须采用专门措施，设置侧向支撑，以保证桁架的侧向稳定。

桁架试验时支座的构造可以采用梁试验的支承方法，支承中心线的位置须准确，起偏差对桁架端节点的局部受力影响较大，应该严格控制。如果是三角形屋架，受荷后，下弦伸长较多，滚动支座的水平位移往往较大，因此支座垫板应有足够的尺寸。

观测项目一般有强度、挠度、杆件内力等。测量挠度可以采用位移计，测点一般布置在下弦节点。为了测量支座沉降，在桁架两支座的中心线上应安装垂直方向的位移计。另外

还需要在下弦两端安装两个水平方向的位移计，以测量在荷载作用下固定铰支座和滚动铰支座的水平位移值。杆件内力测量可以用电阻应变片进行测量，其安装位置随杆件受力条件和测量要求而定。

荷载分级可以在弹性范围内，按指导教师给定的执行。

为保持整体稳定，试验桁架的平面外均应设置水平辅助桁架，确保稳定。

## 五、试验步骤

- 1、检查试件和试验装置，装好仪表，应变片已经事先贴好，只需检查电阻值和接线情况。
- 2、加实验指导教师给定的荷载值，做预载试验，测好读数观察、分析试验结果，检查试验装置，看试件、仪表是否工作正常，然后卸载，把发现的问题及时解决、排除。
- 3、仪表重新调零，记录初读数，做好记录和描绘试验曲线的准备。
- 4、正式加载，采用5级加载，每级按实验指导教师给定的荷载施加，每级持载停歇时间为5分钟，停歇结束前读数。
- 5、满荷载为 N，满载后分两级卸载，并记下读数。
- 6、正式试验重复两次。

百分表挠度值记录表

表 4—1

荷载 (KN)	百分表读数 (mm)								实际挠度值 (mm)	
	表①		表②		表③		表④		②	③
	读数	累计	读数	累计	读数	累计	读数	累计		
0										

测点应变值记录表

表 4—2

荷载 KN	测点应变值 ( $\mu \epsilon$ )																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

桁架内力理论值与实测值对比表

表 4—3

测点	杆 1	杆 2	杆 3	杆 4	杆 5	杆 6
实测值						
理论值						
误差 (%)						

## 六、试验结果的整理、分析及试验报告

1、钢桁架原始数据：钢管单位长度重量：1.83kg/m

外直径：32mm

内直径：27mm

$E=2.06 \times 10^5 \text{MPa}$  管壁厚：2.5mm

$W=1.59 \times 10^3 \text{ (cm}^2\text{)}$   $r=1.05\text{cm}$   $r$ :回转半径

2、桁架各杆件内力图（按给定桁架图，要求学生自己事先计算）

3、节点挠度的计算公式： $f_{2 \text{ 荷载}} = f_{2 \text{ 测}} - \frac{2}{3} f_1 + \frac{1}{3} f_4$

### 试验报告要求：

- 1、计算出各块表的累计读数。
- 2、计算各杆件的实测内力值及理论内力值，并进行对比，计算相对误差。（见表 4—3）
- 3、画出表 2 或表 3 节点处的荷载——挠度曲线。
- 4、具体分析试验结果与理论值误差产生的原因。
- 5、根据试验结果综合分析，对桁架的工作状态作出评价。

## 试验三、动态测量仪器的使用和结构动力特性的测量

### 一、试验目的

- 1、熟悉动态测量仪器、操作系统的使用方法。
- 2、测量试验梁的动力特性。

### 二、试验仪器和设备

- 1、EDX1500 动态测量数据采集分析系统。
- 2、加速度传感器。
- 3、试验梁。

### 三、试验原理

结构的动力特性参数主要包括有：自振频率、阻尼系数、振形等基本参数，也称动力特性参数或振动模态参数。这些特性由结构形式、质量布置、结构刚度、材料性质、构造连接等因素决定，与外荷载无关。

结构动力特性试验是结构动力试验的基本内容，在研究建筑结构或其他工程结构的抗震、抗风或抵御其他动荷载的性能和能力时，都必须进行结构动力特性试验，了解结构的自振特性。

测量结构动力特性的方法主要有：人工激振法和环境随机振动法。人工激振法又可以分为自由振动法和强迫振动法。

本次试验采用自由振动法。先用小锤敲击试验梁，使试验梁产生振动，记录下振动的波形，由于波形的前段有撞击荷载的影响，因此，要截去受撞击荷载影响的波形，用余下的自由振动的波形曲线（图 6—1 所示），通过动力测量数据采集系统分析、计算并得到结构的自振周期和阻尼比。

$$x = \frac{1}{2p} \ln \frac{x_n}{x_{n+1}} \quad (6-1)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (6-2)$$

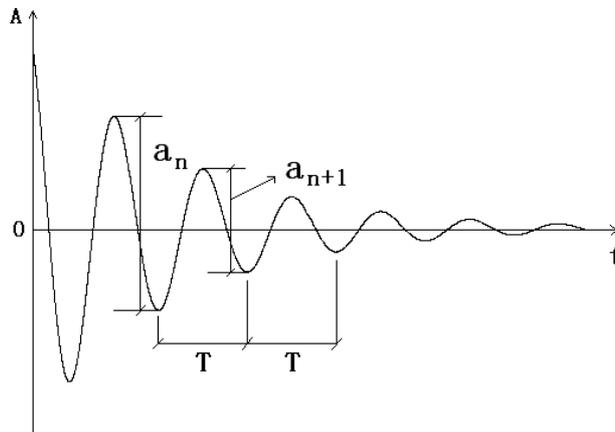


图 6—1 有阻尼自由振动波形

式中  $f$  为周期； $\xi$  为阻尼比。

在计算周期时，应取若干个周期的平均值作为计算周期，以提高精度。

#### 四、试验步骤

- 1、将加速度传感器安装在试验梁上，检查测试系统各部分是否工作正常。
- 2、用锤击激振时，撞击力量要适中。
- 3、记录试验曲线，并将各个主要点的数据记录下来。
- 4、在 6—1 表中记录试验梁的几何参数及材料性能。

试验梁参数

表 6—1

截面高度 (mm)	截面宽度 (mm)	跨度 (m)	弹性模量 (N/mm <sup>2</sup> )	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	线密度 $\frac{m}{m}$

#### 五、数据处理

- 1、简支梁的自振频率理论值  $w = \left(\frac{p}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{m}}$
- 2、根据试验记录的曲线各点的值计算出构件的自振周期和阻尼比。
- 3、比较实测值和理论值的差异，并发现其原因。
- 4、完成试验报告，记录曲线应附在试验报告内。

## 试验四、回弹法检测混凝土强度

### 一、试验目的

- 1、学会使用回弹仪，了结回弹仪的使用条件。
- 2、掌握回弹法的基本原理和回弹仪的构造。
- 3、熟悉对回弹所得数据的处理和混凝土强度的推定。

### 二、试验仪器和设备

- 1、回弹仪。
- 2、1%的酚酞酒精溶液。
- 3、回弹法检测混凝土抗压强度技术规程。
- 4、混凝土试件。

### 三、基本原理

回弹法是非破损检测技术（非破损检测技术是在不破坏结构构件材料内部结构，不影响结构整体工作性能和不危及结构安全的情况下，利用和依据物理学的力、声、电、磁和射线等的原理、技术和方法，测定与结构材料性能有关的各种物理量，并推定结构构件材料强度和内部缺陷的一种测试技术）的一种。

测量混凝土的表面硬度来推算抗压强度，是混凝土结构现场检测中常用的一种非破损试验方法。用回弹仪弹击混凝土表面时，由仪器重锤回弹能量的变化，反映混凝土的弹性和塑性性质，故此法称为回弹法。

回弹法的基本原理是使用回弹仪的弹击拉簧驱动仪器内的弹击重锤，通过中心导杆，弹击混凝土的表面，并测得重锤反弹的距离，以反弹距离与弹簧的初始长度之比为回弹值  $R$ ，由它与混凝土强度的相关关系来推定混凝土强度。（见图 7—1）

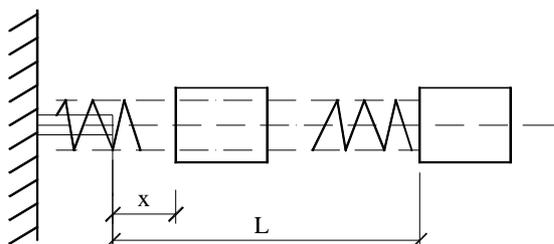


图 7—1

$$R = \frac{x}{L} 100\% \quad (7-1)$$

式中： $L$ ——弹弹簧的初始长度；

$x$ ——重锤反弹位置或重锤回弹时弹簧的拉伸长度。

回弹法检测混凝土强度的影响因素有：

#### 1、回弹仪测试角度的影响。

回弹仪非水平方向测试时，由于重力作用使测试结果与水平方向不同，这时应根据回弹仪轴线与水平方向的角度  $\alpha$  对回弹值进行修正。

#### 2、混凝土不同浇筑面的影响。

混凝土不同浇筑面有不同的状况，由于混凝土的泌水现象，构件底部石子较多，回弹值偏高。表层因泌水，水灰比略大，面层疏松，使回弹值偏低。所以测试时要尽量选择构件浇筑的侧面，如不能满足，应按不同测试面对回弹值进行修正。

#### 3、龄期和炭化深度的影响。

已硬化的混凝土表面受到空气中的二氧化碳的作用，使混凝土中的水泥水化游离出的

氢氧化钙逐渐变化,生成硬度较高的碳酸钙,这就是混凝土的炭化现象。随着混凝土硬化龄的增长,表面产生炭化现象后,使表面硬度随着炭化深度的增加逐渐加大,这时直接采用回弹值来推定混凝土强度,必然会产生误差。因此要考虑炭化深度的影响。

#### 4、养护方法和温度的影响

对于相同强度的混凝土,自然养护的回弹值高于标准养护的回弹值,其主要原因是混凝土不同使强度发展不同,表面硬度也不同。混凝土表面湿度愈大,回弹值愈低。

### 四、试验步骤

1、率定。回弹仪在使用前应在洛氏硬度 HRC 为  $60 \pm 2$  的钢砧上,在室温  $(20 \pm 5) \text{C}^0$  的条件下进行率定。钢砧应稳固地放在刚度大的混凝土实体上,回弹仪向下弹击,取连续三次的稳定回弹值进行平均,弹击杆应分四次旋转,每次旋转  $90^0$ 。弹击杆每旋转一次的率定平均值应符合  $80 \pm 2$  的要求。

2、选择测区。每个构件至少 10 个测区。测区面积控制在  $0.04\text{m}^2$ ,以能容纳 16 个回弹测点为宜。

3、回弹值测量。回弹仪始终垂直于结构或构件的表面(检测面),测点不应在气孔或外露石子上。同一测点只允许弹击一次。测点在测区内均匀分布,每一测点的回弹值读数精确至个位,,相临两测点净距一般不小于 20mm。

4、炭化深度的测量。应选择不少于 30%测区数在有代表性的位置上测量炭化深度值。用合适的工具在测区表面形成直径约为 15mm 并有一定深度的孔洞。清除孔洞中的碎屑和粉末时,注意不得用水冲洗,应立即用浓度为 1%的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁边缘处,用深度测量工具量测自测试表面至深部不变色边缘处与测试面的垂直距离多次,取其平均值为该测区的炭化深度值。每次量测读数精确至 0.5mm。

#### 5、回弹值的数据处理。

①、回弹值的计算:从 16 个数据中剔除 3 个最大值和 3 个最小值,然后计算余下的 10 个平均值。

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (7-1)$$

$R_m$ ——测区平均回弹值,精确至 0.1;

$R_i$ ——第  $i$  个测点的回弹值。

#### ②、炭化深度值的计算:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (7-2)$$

$d_m$ ——测区的平均炭化深度值 (mm),计算至 0.5mm;

$d_i$ ——第  $i$  次测量的炭化深度值 (mm);

当  $d_m < 0.5\text{mm}$  时,按无炭化进行处理。当  $d_m > 6\text{mm}$  时,则按  $d_m = 6$  计算。

### 五、试验报告

1、将回弹的试验数据和对应的炭化深度值记录在给定的表格中,并按规程要求计算出  $R_m$  和  $d_m$  值。

2、根据计算出的  $R_m$  和  $d_m$  值推定每个测区的混凝土强度值  $f_{cu,i}$ 。

3、若试验值足够多时,计算构件或结构的混凝土强度的平均值和标准差,并推定构件或结构的混凝土强度。

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \quad (7-3)$$

$m_{f_{cu}^c}$  —— 结构或构件混凝土强度平均值 (MPa), 精确至 0.1 (MPa)。

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \quad (7-4)$$

$s_{f_{cu}^c}$  —— 结构或构件混凝土强度标准差 (MPa), 精确至 0.01 (MPa)。

#### 4、结构或构件混凝土强度推定值

##### ① 单个构件

$$f_{cu,e} = f_{cu,\min}^c \quad (7-5)$$

②、批量检测时, 在该批构件强度平均值满足相应条件时, 按 (7-6) 和 (7-7) 式中较大值推定混凝土强度。

$$f_{cu,e1} = m_{f_{cu}^c} - 1.645S_{f_{cu}^c} \quad (7-6)$$

$$f_{cu,e2} = m_{f_{cu,\min}^c} \quad (7-7)$$

对于按批量检测的构件, 当该批构件混凝土强度标准差出现下列情况之一时, 该批构件应全部按单个构件检测推定:

i、该批构件混凝土强度平均值小于 25MPa, 且  $s_{f_{cu}^c} > 4.5\text{MPa}$ ;

ii、该批构件混凝土强度平均值等于或大于 25MPa, 且  $s_{f_{cu}^c} > 5.5\text{MPa}$ 。

混凝土强度回弹记录表

表 7—1

测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	R <sub>m</sub>	d <sub>i</sub>

混凝土强度推定值:

## 试验五、超声——回弹综合法检测混凝土强度

### 一、试验目的

- 1、学会使用混凝土超声波检测仪，了解其使用条件。
- 2、掌握超声——回弹综合法检测混凝土强度的基本原理和使用方法。
- 3、熟悉对超声——回弹所得数据的处理和混凝土强度的推定。

### 二、试验仪器和设备

- 1、混凝土超声波检测仪。
- 2、混凝土回弹仪。
- 3、超声——回弹综合法检测混凝土强度技术规程（CECS02：88）。
- 4、混凝土试件。

### 三、基本原理

超声法和回弹法都是以混凝土材料的应力应变行为与强度的关系为依据的。超声波在混凝土材料中的传播速度反映材料的弹性性质。由于超声波穿透被检材料，因此，它反映了混凝土内部构造的有关信息。回弹值反映混凝土的弹性性质，同时也在一定程度上也反映混凝土的塑性性质，但它只能确切反映混凝土表层 3cm 左右厚度的状态。当采用超声——回弹综合法时，就既能反映混凝土的弹性，又能反映混凝土的塑性；既能反映混凝土的表层状态，又能反映混凝土的内部构造。可以由表及里、较为准确地反映混凝土的强度。

超声波脉冲实质上是超声检测仪的高频电震荡激励换能器中的压电晶体，有压电效应产生的机械振动发出的声波在介质中的传播。混凝土强度愈高，相应超声波波速愈大。

超声——回弹综合法利用  $f_{cu}^c - v - R_m$  关系推算混凝土强度，不需测量碳化深度，减少测量误差。

$$f_{cu}^c = Av^B R_m^C \quad (8-1)$$

$f_{cu}^c$  ——混凝土强度换算值；

$v$  ——超声波在混凝土中的传播速度；

$R_m$  ——测区平均回弹值；

$A$ 、 $B$ 、 $C$  常数项，可用最小二乘法确定。

混凝土超声波检测系统组成见图 8—1

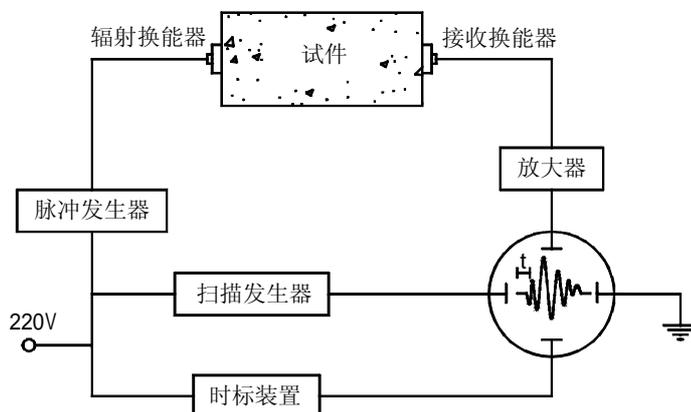


图 8—1 混凝土超声波检测系统图

#### 四、试验步骤

- 1、在混凝土试件上确定超声波测点和回弹测点的位置。如图 8—2。
  - ①、单个构件测区不少于 10 个；同批量构件不少于同批构件数的 30%，且不少于 4 个。
  - ②、测区宜在混凝土构件浇筑方向的侧面；测区间距不宜大于 2m；避开钢筋密集区和预埋件测试面应清洁、平整、无缺陷。
  - ③、测区应进行编号。
- 2、测区回弹值的测量与试验七的规定相同，但不需测量碳化深度。
- 3、测区超声值的测量。注意：相对面的接收器和换能器应在同一轴线上，以保证每对测点的测距最短。测试时必须保持换能器与混凝土表面有良好的耦合，以减少声能的反射损失。

$$\text{超声波的波速: } v = \frac{L}{t_{mi}}$$

$$t_{mi} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

#### 4、结构或构件混凝土强度的推定

A、结构或构件第  $i$  个测区混凝土强度换算值  $f_{cu,i}^c$  应按检测修正后的回弹值  $R_a$  及修正后的声速值  $v_a$ ，优先采用专用或地区的测强曲线推定。无该类曲线时也可按《超声——回弹综合法检测混凝土强度技术规程》（CECS02：88）的规定确定。

B、当结构所用材料与制定的测强曲线所用材料有较大差异时，需用同条件试块或从结构构件测区钻取的混凝土芯样进行修正。修正系数可按《超声——回弹综合法检测混凝土强度技术规程》（CECS02：88）规定进行计算。

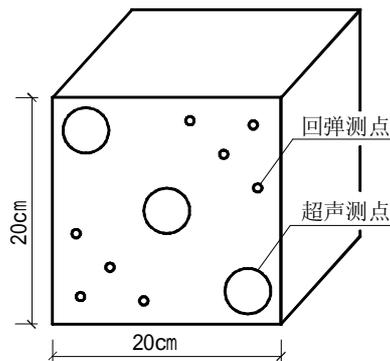


图 8—2 超声回弹综合法测点布置图

超声——回弹综合法检测混凝土强度记录表（回弹仪）

8—1—1

测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	$R_m$
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	

超声——回弹综合法检测混凝土强度记录表（超声波）

8—1—2

测点	L	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_{mi}$	$v$
1						
2						
3						

混凝土强度推定值：

### 五、试验报告

1、将回弹的试验数据和对应的超声波值记录在给定的表格中，并按规程要求计算出  $v$  和  $R_m$  值。

2、根据计算出的  $v$  和  $R_m$  值推定每个测区的混凝土强度值  $f_{cu,i}$ 。

3、若试验值足够多时，计算构件或结构的混凝土强度的平均值和标准差，并推定构件或结构的混凝土强度。

## 附录、常用仪器设备及采集系统的介绍

### 一、DH—3815 静态应变测量系统使用说明

#### 1、概述：

DH3815 静态应变测量系统有数据采集箱、微型计算机及支持软件组成。可自动、准确、可靠、快速测量大型结构、模型及材料应力试验中多点得静态应变应力值。

#### 特点：

数据采集箱与微型计算机通过 RS---232C 串行通讯口进行数据传输

通过微型计算机由支持软件完成所有操作功能；；

计算机自动完成初始值、长导线、灵敏度系数的修正，方便迅速。

中文视窗 95 操作系统下 32 位采样和分析软件。

#### 2、技术指标：

(1) 测量点数：每台计算机可控制 16 台数据采样箱；每台数据采样箱可测 60 点；

(2) 采样速度：12 点/秒；

(3) 适用应变片电阻值：50---10000  $\Omega$  任意设定；

(4) 应变片灵敏度系数：1.0---3.0 自动修正；

(5) 供桥电压：2V(DC)；

(6) 测量应变范围： $-2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4$  ( $\mu \epsilon$ )；

(7) 最高分辨率 1  $\mu \epsilon$ ；

(8) 系统不确定度：不大于  $0.5\% \pm 3 \mu \epsilon$ ；

(9) 零漂：不大于  $4 \mu \epsilon / 4h$  (切换开关前考核)；

(10) 自动平衡范围： $\pm 6000 \mu \epsilon$  (120  $\Omega$  应变片阻值误差 0.5%)；

(11) 长导线电阻修正范围：0.0~100  $\Omega$ ；

(12) 电源：220V  $\pm 10\%$  50Hz  $\pm 2\%$ ；

#### 3、使用说明：

(1) 打开采集箱总电源控制开关，接通电源、指示灯亮。

(2) 查找机箱：系统将自动查找已经进入系统的工作机箱，以自动设置系统的数据库范围。

(3) 工作特点设置：分别设置各采集箱的起始测点和结束测点，并定义每个采集箱应变测量。

(4) 测点特性设置：当配接其它桥式传感器时，可根据传感器的灵敏度对每个测点分别输入修正系数，并设置被测物理量的单位，描述设置可输入用户在实际测量中对每一测点的自定义，供在测量中显示及打印输出。

(5) 电桥及试件参数设置：输入应变片电阻、导线电阻灵敏度系数、桥路方式，实现对测量结果的自动修正。输入被测试件材料的弹性模量和泊松比，供测量结果的修正及应力和应变花计算。

(6) 平衡操作：完成所有工作机箱或单台机箱的自动平衡，显示平衡结果数据。

(7) 试采样操作：每次采样只显示结果但不存盘，供试验开始前预调平衡时使用。

(8) 单次采样：输入自定义的试验状态，控制系统采样，自动存盘，并显示当前采样数据。

(9) 桥路的连接：在做以上八点操作时，首先做好桥路连接，桥路连接方法如试验指导书中所示。

## 二、钢筋测试仪的使用说明

该仪器用于钢筋混凝土构件或结构保护层厚度和钢筋位置的测定。在非破损性检测试验中经常使用。

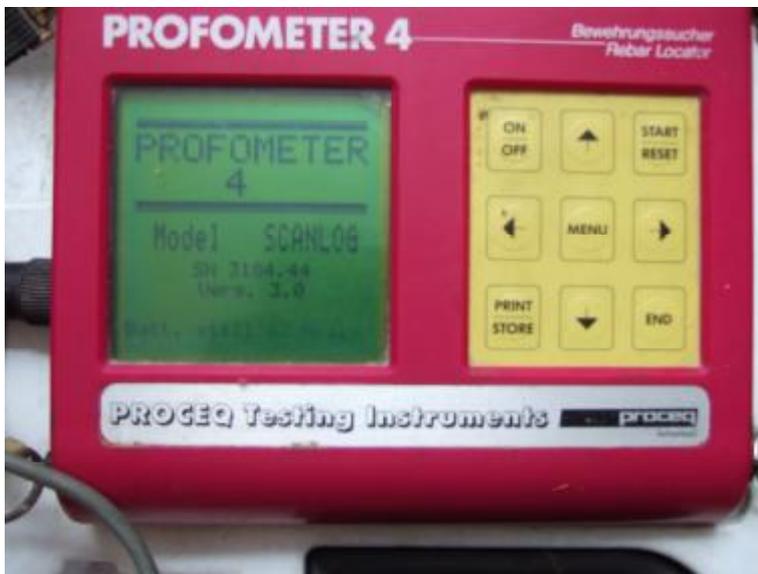
钢筋测试仪是利用电磁感应原理进行检测的。混凝土是带弱磁性的材料，而结构内配置的钢筋是带有强磁性的。混凝土原来是均匀磁场，当配置钢筋后，就会使磁力线集中于沿钢筋的方向。检测时钢筋测试仪的探头接触结构混凝土表面，探头中的线圈通过交流电，线圈周围就产生交流磁场。该磁场中由于有钢筋存在，线圈中产生感应电压。该感应电压的变化值是钢筋与探头的距离和钢筋直径的函数。钢筋愈靠近探头，钢筋直径愈大，感应强度变化愈大。

对同一型号的钢筋来说，探头和钢筋的距离与线圈中的电流有一一对应的关系。

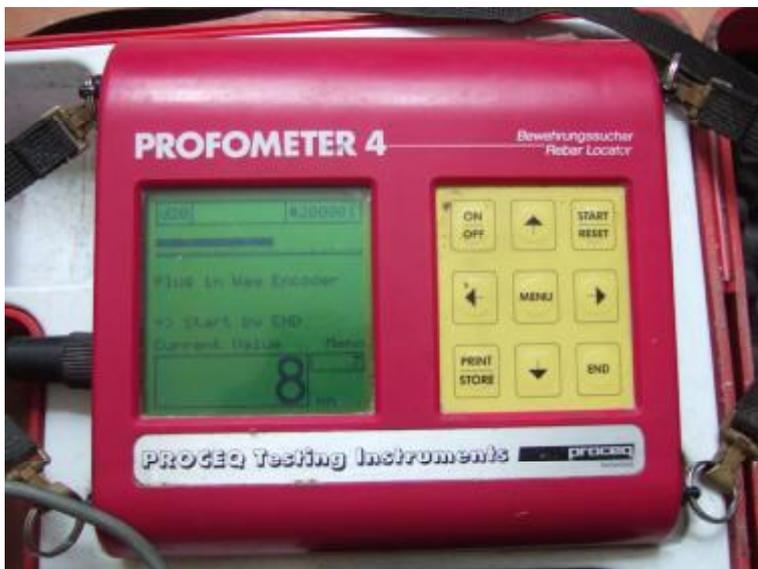
检测前应事先查看图纸，了解混凝土中的钢筋分布情况。

### 仪器的具体使用方法：

- 1、打开仪器的电源开关，等待仪器自检，出现如下主画面，显示电池寿命。



- 2、自检完毕后，调整仪器自动进入至保护层厚度测量档位，如下面图，其中屏幕上的黑条为模拟条，屏幕下面数字为保护层厚度 mm。



3、用探头沿混凝土表面平稳移动，即当显示数字由大变小，再由小变大时，其中最小值读数的位置就是钢筋所在的位置。同样的办法，再找出临近的另外一根钢筋的具体位置。也可以看显示屏上的模拟条，模拟条由短变长，再由长变短，发生突变，模拟条最长的位置，既是钢筋所在位置。

4、进行纵横两个方向的钢筋位置检测，分别确定主筋和箍筋的具体位置，并用笔清楚地作出记号，并用米尺测量其间距即为钢筋间距。

5、放置探头在钢筋位置处，通过仪器内的转换电路，可以直接在显示屏上显示保护层的厚度 mm 数，即为保护层厚度的具体数值。

要想测量准确，就要多进行实践练习，用心体会，积累经验，尽量减小测量误差。



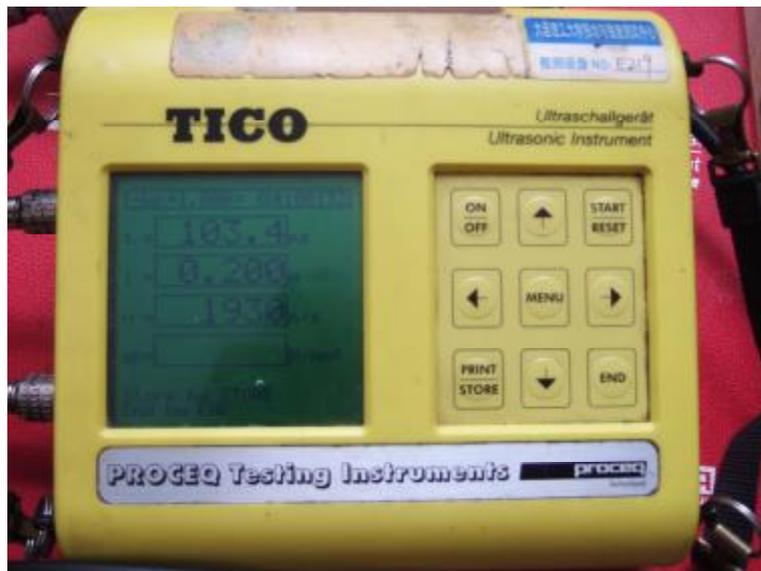
### 三、超声波探测仪的使用说明

1、打开超声波探测仪（TICO）的开关，进入下面的主画面。



2、输入测量混凝土距离信息，其默认值为 200mm，（在第二行的方框中）。

3、第一行的方框中为测量的距离内超声波传播的时间，第三行的方框中则为自动计算出的超声波传播速度 m/s。如下图。

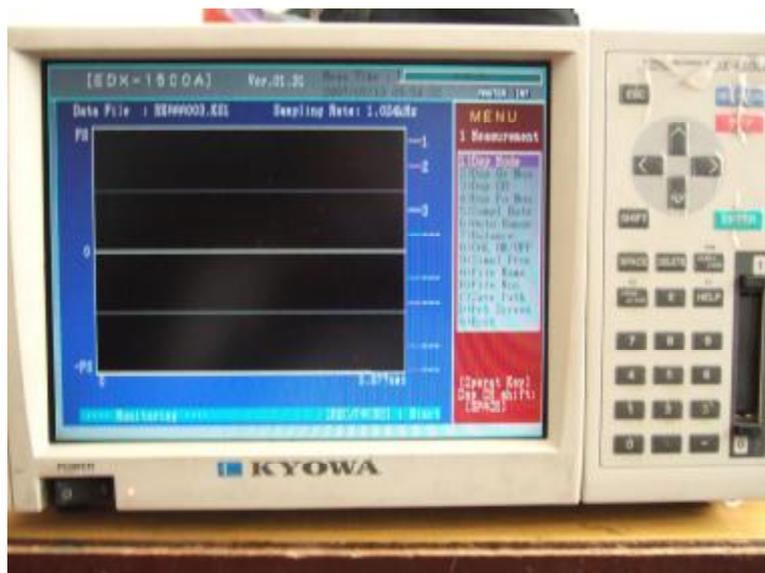


#### 四、动态检测分析仪 EDX—1500 使用说明

1、打开开关，进入 EDX—1500 主画面，如下图。按测量条，进入测量画面。



2、进入测量画面如下图。按右侧对话框中的 7 键，进入平衡操作。



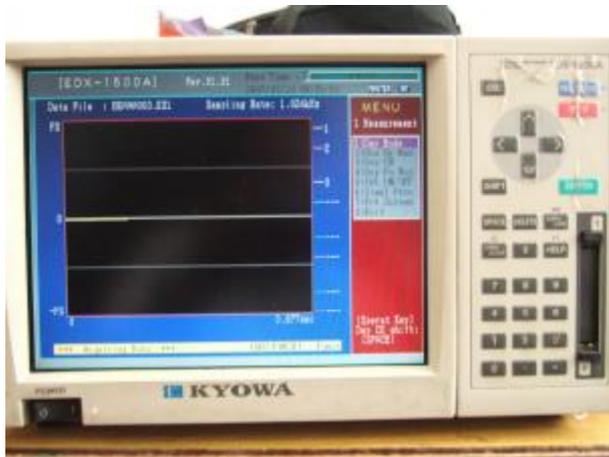
3、出现平衡操作对话框如下图。按 ENTER 键进行平衡操作。



4、按任意键完成平衡操作，弹出屏幕监视框如下图。调整激励程度，当出现适合波形，则按红色 F<sub>4</sub> 键。



5、按 F<sub>4</sub> 键红框出现，如下图。记录屏幕左上方的文件号，将振动波形记录完全后按蓝色 F<sub>3</sub> 键停止。



6、在重放的画面中，找出合适的波形，如下图。用卡尺量出时间、振幅信息值，打印屏幕，完成本次试验记录。

