

# 土木工程结构试验 实验指导书

适用专业：土木工程（建筑工程方向）

上海应用技术大学

2017年6月

# 前 言

土木工程结构试验是研究和发展结构设计理论的重要实践，从材料的力学性能到验证由各种材料构成各类结构和构件的基本计算方法，以及近年来发展的大量大跨、超高、复杂结构的计算理论，都离不开试验研究，其在土木工程科学研究和技术革新方面起着重要的作用。

《土木工程结构试验》是土木工程专业的一门专业基础课，与材料力学、结构力学、混凝土结构、砌体结构、钢结构和桥梁结构等课程直接相关，并设计物理学、机械与电子测量技术、数理统计分析等学科内容。通过本课程的学习，使学生获得土木工程结构试验方面的基础知识和基本技能，掌握一般工程结构试验规划设计、结构试验、工程检测和鉴定的方法，以及根据试验结果做出正确的分析和结论的能力，为今后的学习和工作打下良好的基础。

按照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》，结合我校培养目标及毕业要求，依据国家以及有关行业的最新规范和规程，本指导书设计了7个试验，共计14学时，其中，电阻应变片粘贴及量测技术、静态应变仪的使用和接桥方法、结构基本动力特性参数测试由王国林副教授编写，钢桁架全过程静载实验、混凝土结构无损检测技术及钢柱受压实验由吴志平副教授和胡大柱副教授编写，既有房屋综合检测技术主要由邓磊老师编写，全书由王国林统稿。限于作者水平，书中可能会存在不当之处，恳请批评指正。

# 结构试验须知

为了能够顺利的完成实验，要求做好以下几个方面工作：

## 一、 实验前的准备工作

首先，应认真预习本实验指导，了解实验目的、原理、方法和步骤，熟悉所使用的仪器和仪表的构造和操作规则。另外，实验小组成员应分工明确、协调工作，准备好必要的表格。

## 二、 正式实验

在进行正式实验前，要注意各测量装置是否处于工作状态，仪表、试件安装是否稳妥，由指导教师检查后，方可进行实验。

在实验过程中，必须严肃认真、一丝不苟的进行工作，决不允许草率了事，私自拆动仪器和其它设备。实验完毕，应清理好设备。归还所借用的仪器和工具。

实验原始数据记录一式两份，一份交指导教师、一份留作小组作为实验报告依据。

## 三、 实验报告的书写

实验报告是实验者最后交出的实验成果，是实验资料的总结，实验者必须独立完成报告所要求的各项内容。一般实验报告应包括以下内容：

1. 实验报告一律使用上海应用技术学院报告用纸；
2. 实验名称、日期、地点、条件和实验人员；
3. 实验目的、实验所用设备、仪器、仪表、并注明型号和精度等；
4. 实验方法及步骤，扼要说明实验原理及如何进行实验；
5. 实验数据应记录在表格中，整理实验原始数据必须注意有效位数的运算法则，不能虚构精度；
6. 实验结果，在实验中除根据实测数据进行整理计算结果外，一般还采用图表和曲线表达实验结果；
7. 结论。分析所得结果及误差，指出存在的问题及进一步改进措施，实验的收获及体会，思考题在报告中应做出回答。

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 实验一 电阻应变片粘贴及量测技术 .....  | 1  |
| 实验二 静态应变仪的使用和接桥方式 ..... | 3  |
| 实验三 钢桁架全过程静载实验 .....    | 6  |
| 实验四 钢柱受压实验 .....        | 9  |
| 实验五 结构基本动力特性参数测试 .....  | 12 |
| 实验六 混凝土结构无损检测技术 .....   | 14 |
| 实验七 既有房屋综合检测技术实验 .....  | 21 |

# 实验一 电阻应变片粘贴及量测技术

## 一、实验目的

- 1、掌握电阻应变片的选用原则和方法；
- 2、掌握应变片的粘贴技术，学会防潮层的制作；
- 3、为电阻应变片量测实验做好前期准备工作。

## 二、实验器材

数字万用表；黏结剂（502 胶）；常温用电阻应变片；悬臂等强梁（或钢筒支梁）及小钢块；砂纸、棉纱、电烙铁、镊子等小工具；环氧树脂，丙酮；1 米长塑料胶合线 6 根。

## 三、实验步骤

### 1、应变计准备

贴片前，凭肉眼或借助放大镜进行对待用的电阻应变计进行外观检查，观察敏感栅有无锈斑，缺陷，是否排列整齐，基底和覆盖层有无损坏，引线是否完好。再用万用电表检查阻值，检查敏感栅是否有断路、短路，并进行阻值分选，对于共用温度补偿的一组应变计，阻值相差不得超过 $\pm 0.5\Omega$ ，灵敏系数必须相同。

### 2、构件表面处理

对于钢铁等金属构件，首先是清除表面油漆、氧化层和污垢；然后磨平或锉平，并用细砂布磨光。对非常光滑的构件，则需用细砂布沿  $45^\circ$  方向交叉磨出一些纹路，以增强粘结力。打磨面积约为应变计面积的 5 倍左右。打磨完毕后，用划针轻轻划出贴片的准确方位（如图 1）。表面处理的最后一道工序是清洗。即用洁净棉纱或脱脂棉球蘸丙酮或其它挥发性溶剂对贴片部位进行反复擦洗，直至棉球上见不到污垢为止。

### 3、贴片

贴片工艺随所用粘结剂不同而异，用 502 胶贴片的过程是，待清洗剂挥发后，用一手捏住应变片引线，在其底层均匀地涂一层 502 胶，然后准确的将其贴在定位位置上（可用镊子拨动应变计，调整位置和角度）。定位后，在应变计上垫一层塑料薄膜（聚乙烯或四氟乙烯薄膜），用手指顺丝栅方向滚动，以便挤出多余的胶水和气泡，稍停一两分钟后将塑料薄膜揭去，检查应变片有无气泡翘曲及脱胶等现象。

### 4、导线的焊接与固定

粘结剂初步固化后，即可进行焊线。常温静态测量可使用双芯多股铜质塑料线作导线，动态测量应使用三芯或四芯屏蔽电缆作导线。

应变计和导线间的连接最好通过接线端子，将应变片引出线轻轻撩起与接线端子焊点间留一定的拉伸环，用电烙铁将应变片引出线与测量导线锡焊，焊点要求光滑小巧，防止

虚焊。导线两端应根据测点的编号作好标记。

### 5、贴片质量检查

(1) 外观检查：观察贴片方位是否正确，应变计有无损伤，粘贴是否牢固和有气泡等；

(2) 通路检查：用万用表检查应变片引出导线之间的阻值是否是  $120\Omega$ ，检查有无断路、短路；

(3) 绝缘检查：用万用表检查应变片与试件之间的绝缘度（ $100M\Omega$  以上合格），低于  $100M\Omega$  时，用红外线灯烘烤至合格。

### 6、应变计及导线的防护

粘结剂受潮会降低绝缘电阻和粘结强度，严重时会使敏感栅锈蚀；酸，碱及油类浸入甚至会改变基底和粘结剂的物理性能。为了防止大气中游离水分和雨水、露水的浸入，在特殊环境下防止酸、碱、油等杂质侵入，对已充分干燥、固化，并已焊好导线的应变计，应涂上防护层。常用室温防护剂主要是环氧树脂。

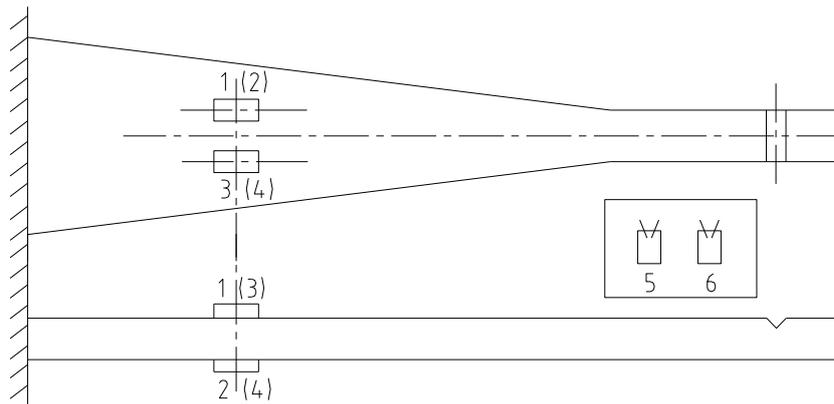


图 1 等强梁、应变片布置示意图

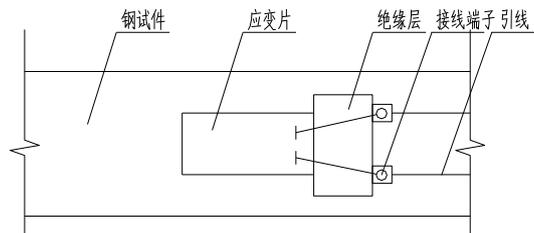


图 2 应变片引线固定示意图

## 四、实验报告要求

- 1、简述贴片、接线、检查等整个操作过程及注意事项；
- 2、分析在操作过程中发生的故障原因及排除方法。

## 五、思考题

野外粘贴应变片应注意些什么？防潮措施应如何处理？

## 实验二 静态应变仪的使用和接桥方式

### 一、实验目的

- 1、掌握静态电阻应变仪调试及使用方法。
- 2、学会单点、多点测量方法及半桥、全桥接法。

### 二、实验仪器及设备

- 1、贴有应变片的等强度梁；
- 2、静态应变采集仪；
- 3、数字万用表等

### 三、应变测量原理及内容

#### 1. 测量原理

电阻应变仪的读数 $\varepsilon_r$ 与其各桥臂应变片 $\varepsilon_i$ 的应变值有如下关系： $\varepsilon_r = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4$ ，利用电桥的这一特征，可以达到多种测量目的。

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，而宽度( $b$ )随加载点与被测截面的距离( $X$ )线性变化( $b=aX$ )，因此等强度梁上下表面的应力(绝对值)为：

$$\sigma = M / W = 6PX / (bh^2) = 6P / (ah^2),$$

即上下表面的应力沿其轴向是均匀的，不随位置而变化。

在等强度梁上，上下表面沿轴向各布置 2 个应变片(上表面 $R_1, R_3$ ，下表面 $R_2, R_4$ )；另外布置 2 个温度补偿片( $R_5, R_6$ )，如图 1。利用这些应变片可以组成多个不同的桥路。电桥的基本接法有两种，即半桥和全桥。半桥只在相邻的两个桥臂上有应变片，其余两边固定电阻，通常以无下标的 $R_{ij}$ 表示。

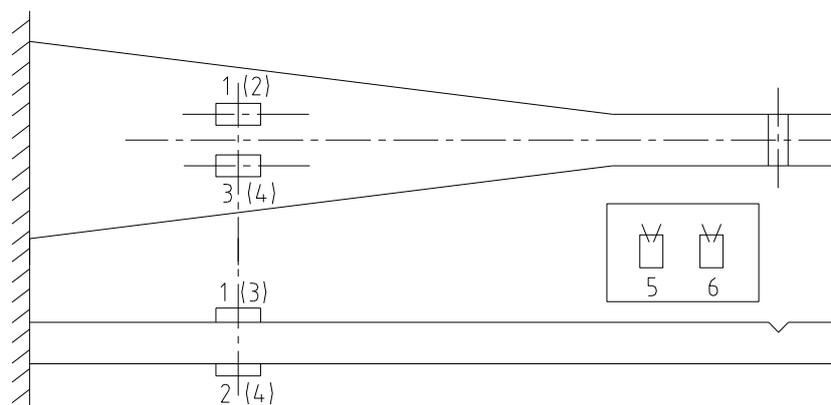


图 1 等强度梁、应变片布置示意图

每一个应变片反应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 $\varepsilon = \varepsilon_{load} + \varepsilon_t$ 分别表示荷载和温度，而荷载又可分为弯矩、轴力等。

#### 2. 实验内容

试验内容包括半桥和全桥各两个实验。

(1) 半桥单补接法 (图2a, 通常称为1/4桥)

这时温度补偿由专用的温度补偿片 ( $R_5$ 或 $R_6$ ) 完成。

$$\epsilon_r = \epsilon_1 - \epsilon_5 = (\epsilon_{1m} + \epsilon_{1t}) - (\epsilon_{5m} + \epsilon_{5t}), \text{ 而 } \epsilon_{1m} = \epsilon_m, \epsilon_{5m} = 0, \epsilon_{1t} = \epsilon_{5t} \text{ 则 } \epsilon_r = \epsilon_m$$

(2) 半桥互补接法 (图2b)

这里以工作片互为温度补偿片, 而读数为实际应变的两倍, 灵敏系数提高了。

$$\epsilon_r = \epsilon_1 - \epsilon_2 = (\epsilon_{1m} + \epsilon_{1t}) - (\epsilon_{2m} + \epsilon_{2t}), \text{ 而 } \epsilon_{1m} = \epsilon_m, \epsilon_{2m} = -\epsilon_m, \text{ 则 } \epsilon_r = 2\epsilon_m$$

(3) 全桥单补接法 (图2c)

此种接法采用两个工作片和两个补偿片。  $\epsilon_{1m} = \epsilon_{3m} = \epsilon_m$

$$\epsilon_r = \epsilon_1 - \epsilon_5 + \epsilon_3 - \epsilon_6 = 2\epsilon_m$$

(4) 全桥互补接法 (图2d)

这种接法四个桥臂都是工作片, 灵敏系数提高到 4 倍。  $\epsilon_r = \epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4 = 4\epsilon_m$

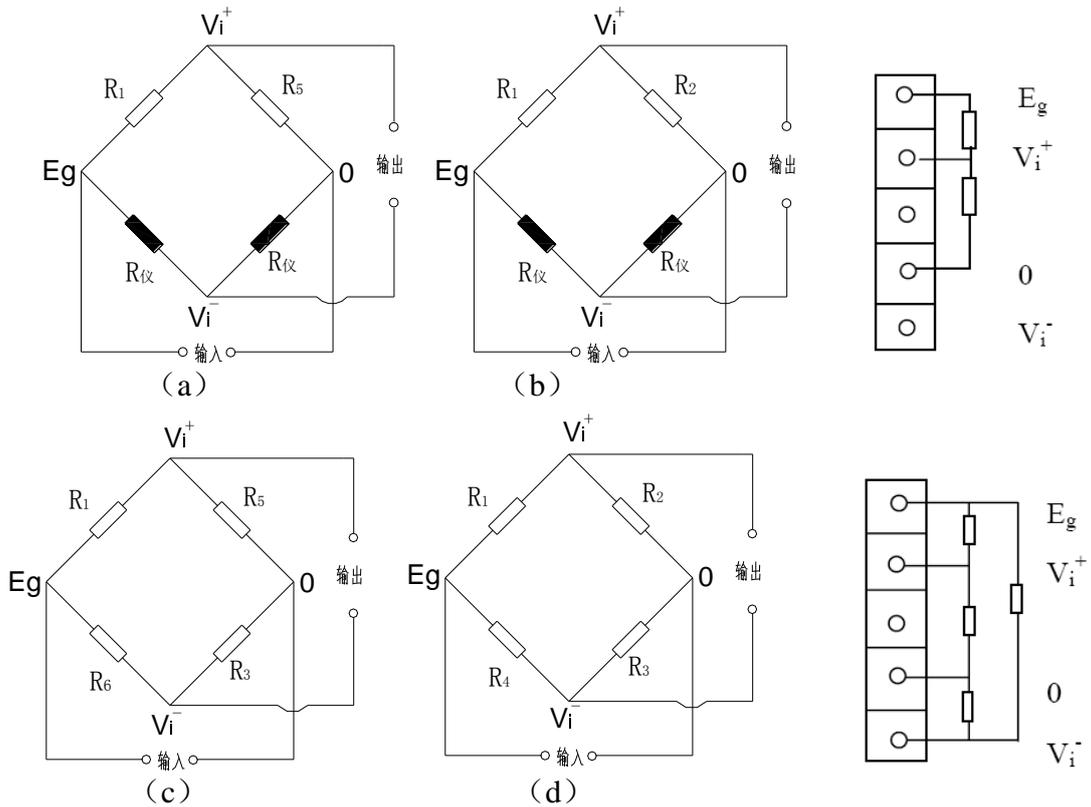


图 2 测量桥路示意图

## 四、实验方法及步骤

### 1、准备工作

a) 测各电阻应变片的对梁绝缘电阻  $> 100M\Omega$ , 自身电阻  $120\Omega$  左右 (用万用表);

### 2、测量

a) 按图2 (a) 进行接线, 平衡应变仪 (显示为0), 分五级加载至49 (5个砝码,  $9.8 \times 5$ ) N, 再分五级卸载至0, 每加、卸一级荷载记录一读数, 并记入表1中, 加载、卸载各进行一次, 同时将加载至49N时的读数记入表2第一栏中, 且取3次平均值。

b) 按图2 (b)、(c)、(d) 分别接线, 一次加载49N (每次接好线, 加载之前都要平衡应变仪), 把读数记录于表2中, 重复3次, 取平均值。

## 五、数据处理及报告要求

- 1、认真编制表格1、2, 填入实验数据, 并在表2中给出各种桥路的桥臂系数;
- 2、对表2中的应变片的应变读数按下式进行仪器误差修正, 得出真实应变值 $\varepsilon_{片}$ 。

$$K_{仪} \varepsilon_{仪} = K_{片} \varepsilon_{片}$$

其中:  $K_{仪}=2$ ,  $\varepsilon_{仪}$ 即为读数值,  $K_{片}$ 一般为 2.06。

- 3、把所用的等强度梁, 通过电测加以整理后的应变与理论值进行比较, 算出相对误差。
- 4、分析测量值与理论值产生误差的原因。

## 六、思考题

试述单臂、半桥、全桥测量的主要应用范围。

附表:

表 1 按 2(a)图接线实验数据

| 荷载/N                 | 加载 |     |      |      |      |    | 卸载   |      |      |     |   |
|----------------------|----|-----|------|------|------|----|------|------|------|-----|---|
|                      | 0  | 9.8 | 19.6 | 29.4 | 39.2 | 49 | 39.2 | 29.4 | 19.6 | 9.8 | 0 |
| 应变/ $\mu\varepsilon$ |    |     |      |      |      |    |      |      |      |     |   |

图 2 半桥、全桥实验数据 荷载 49N

| 测点       | 应变/ $\mu\varepsilon$ |   |   | 平均值/ $\mu\varepsilon$ | 修正后<br>真实值/ $\mu\varepsilon$ | 理论值 | 误差 | 桥臂系<br>数 |
|----------|----------------------|---|---|-----------------------|------------------------------|-----|----|----------|
|          | 1                    | 2 | 3 |                       |                              |     |    |          |
| 接线方<br>式 | a                    |   |   |                       |                              |     |    |          |
|          | b                    |   |   |                       |                              |     |    |          |
|          | c                    |   |   |                       |                              |     |    |          |
|          | d                    |   |   |                       |                              |     |    |          |

## 实验三 钢桁架全过程静载实验

### 一、 试验目的

- 1、认识结构静载试验用的几种仪器、设备，了解它们的结构、性能，并学习其安装和使用方法。
- 2、熟悉结构静载试验的全部工作过程，学习试验方法和试验结果的分析整理。
- 3、通过桁架节点位移、杆件内力的测量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、 试件、试验设备和仪器

- 1、试件——钢桁架（见图1）。

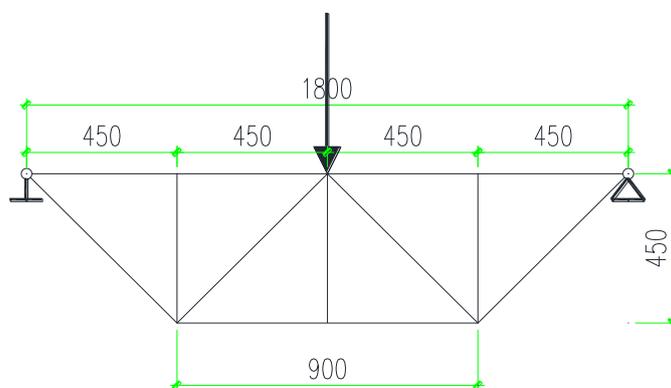


图1 钢桁架受力简图

- 2、试验装置构成——（1）钢桁架；（2）支墩；（3）铰支座；（4）千斤顶；（5）反力架，试验装置见图2。

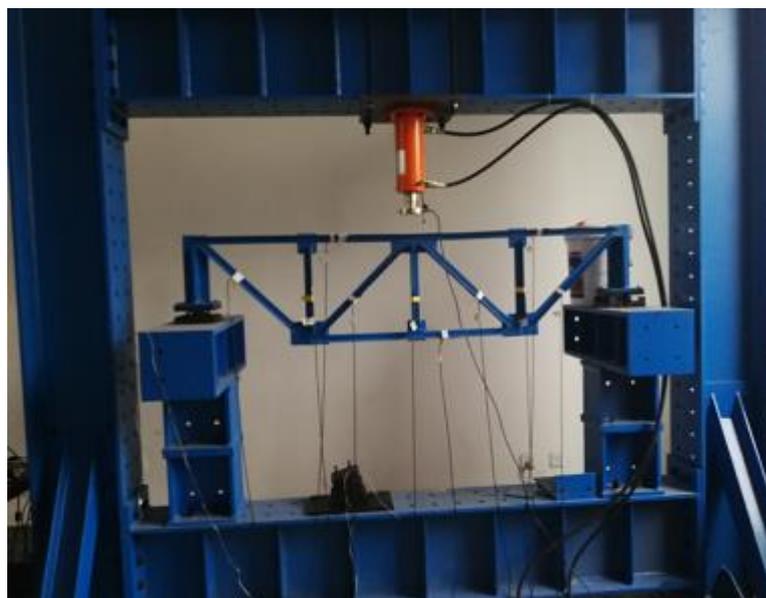


图2 试验装置图

3、试验测量系统——静态电阻应变仪、百分表，应变及位移测点布置见图 3。

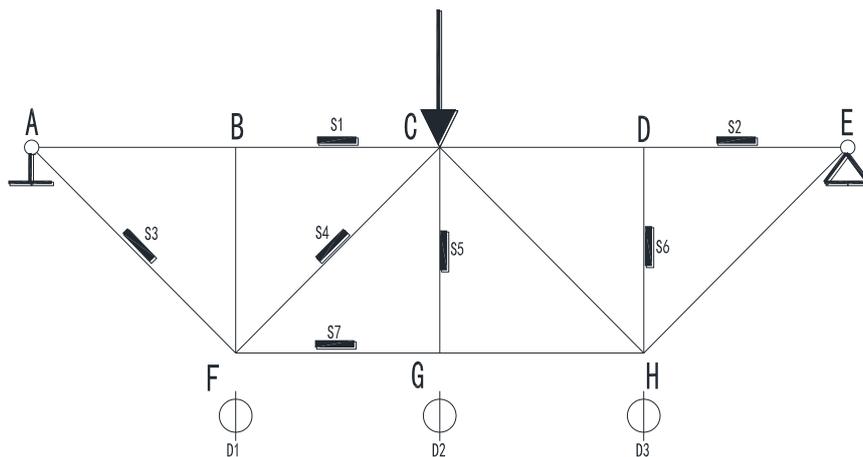


图 3 应变、位移测点布置图

S——电阻应变片； $\phi$ ——百分表；

### 三、 试验方法和步骤

- 1、本试验采用逐级加载方式，每级加 5KN，分四级加载。
- 2、桁架就位于固定的刚性支墩上，并设置平面外位移侧限装置，防止试验中桁架出平面丧失整体或局部稳定。
- 3、按测点布置图在各测点上安装各种仪器、仪表。
- 4、对桁架进行预载试验，加载 1kN，检查各种仪表工作是否正常，然后卸载。
  - 1) 在预载试验中，如发现仪器安装及读数有问题，必须加以调整。
  - 2) 编制表格，将所有仪器的初读数记入表格中，正式开始试验。
  - 3) 每次加载后 5 分钟测读各杆件应变读数。
- 5、满载（20 kN）后逐级卸载，并记录读数。

表 1 应变记录表

|    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| S7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

表 2 位移记录表

|             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 位移 \ 荷载 $N$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

#### 四、 试验结果的整理分析

1、桁架下弦节点挠度分析；

1) 绘制各级荷载作用下桁架下弦的实测挠度曲线（应考虑支座刚性位移的影响修正）；

2、桁架杆件的内力分析；

3) 绘制桁架杆件 CF、CG 在各级荷载作用下的荷载—应变曲线。

#### 五、 分析讨论

1、根据试验结果分析，对钢桁架受载后的实际工作状态作出结论；

2、分析各种实测数据与理论值不相符合的原因，并加以讨论；

3、预载试验的作用。

# 实验四 钢柱受压实验

## 一、试验目的

- 1、通过实验掌握钢构件的实验方法，包括加载装置设计、测点布置、实验结果整理等。
- 2、认识静载试验用的仪器、设备，了解它们的性能，并学习其安装和使用方法。
- 3、通过观察两种截面形式的钢柱受压实验，学习各类弯曲屈曲模态。
- 4、将实验实测承载力与理论承载力进行对比，验证轴心受压构件的柱子曲线。

## 二、试件、试验设备和量测方案

- 1、试件——两种不同截面钢柱（见图 1）。

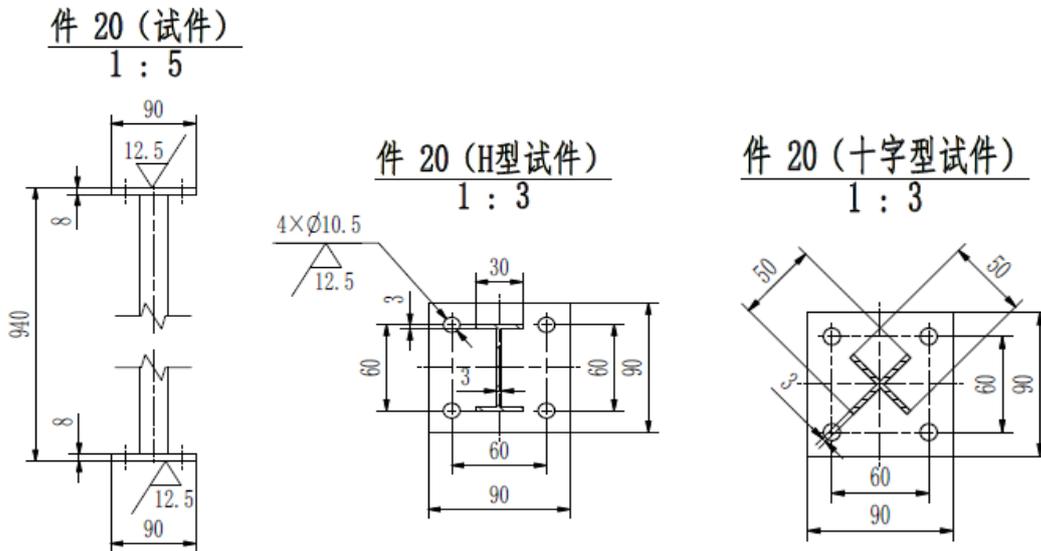


图 1 两种不同截面钢柱

## 2、测点布置

在 1/2 柱高截面黏贴应变片，应变片在截面上的分布如设置图 3 所示。

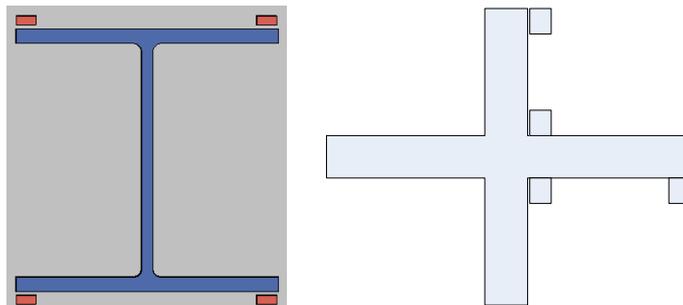


图 2 应变布置图

在柱子两端设置 2 只位移计，量测柱子竖向受压变形。

### 3、试验加载装置构成

包括：（1）自平衡加载框架；（2）铰支座；（3）千斤顶，见图 3。

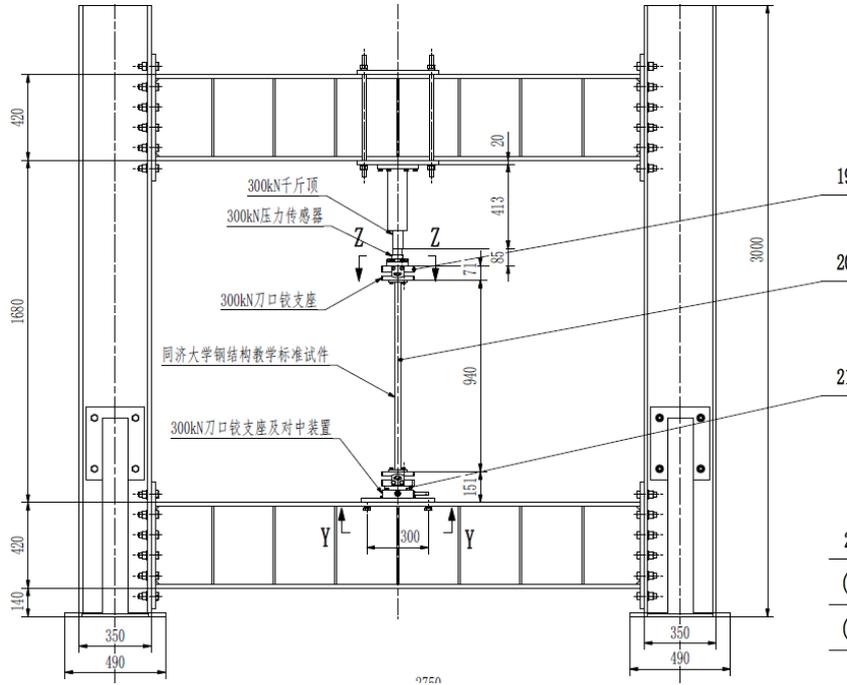


图 3 试验装置示意图

### 三、试验方法和步骤

轴心受压构件整体稳定实验采用单调加载，并采用分级加载和连续加载相结合的加载制度。在加载初期，当荷载小于理论承载力的 80%时，采用分级加载制度，每次加载时间间隔为 2 分钟；当荷载接近理论承载力时，改用连续加载的方式，但加载速率应控制在合理的范围之内。在正式加载前，为检查仪器仪表工作状况和压紧试件，需进行预加载，预加载所用的荷载可取为理论计算值 20%。

实验开始时候，记录应变读数、位移读数、及荷载值。

表 1 应变记录表

| 应 变 \ 荷 载 N |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| H-S1        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| H-S2        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| H-S3        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| H-S4        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| +-S5        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| +-S6        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| +-S7        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| +-S8        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

表 2 位移记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

#### 四、试验结果的整理分析

- 1、绘制各级荷载作用下钢柱实测变形与荷载的关系曲线，横坐标为位移，纵坐标为荷载。
- 2、绘制所测试的应变与荷载关系曲线，横坐标为应变，纵坐标为荷载（四个应变绘制于一张图）。
- 3、比较轴压柱承载力的实测值与理论值。

#### 五、分析讨论

- 1、根据试验结果分析，对轴压柱的实际工作状态做出结论。
- 2、分析各种实测数据与理论值不相符合的原因，并加以讨论。

# 实验五 结构基本动力特性参数测试

## 一、 实验目的

- 1、 熟悉仪器的操作要领
- 2、 动力特性参数测定：自振频率；对数衰减系数；阻尼比。

## 二、 实验仪器

- 1、 贴有应变片的悬臂梁
- 2、 动静态应变测试系统一套
- 3、 位移计
- 4、 数字万用表
- 5、 计算机

## 三、 实验内容和方法

利用自由振动法测自振频率  $f_{自}$ ，对数衰减系数，阻尼比。

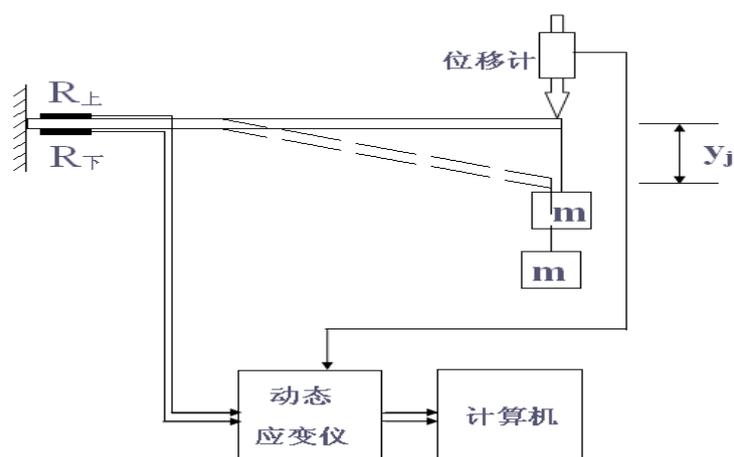


图 1 实验布置如图

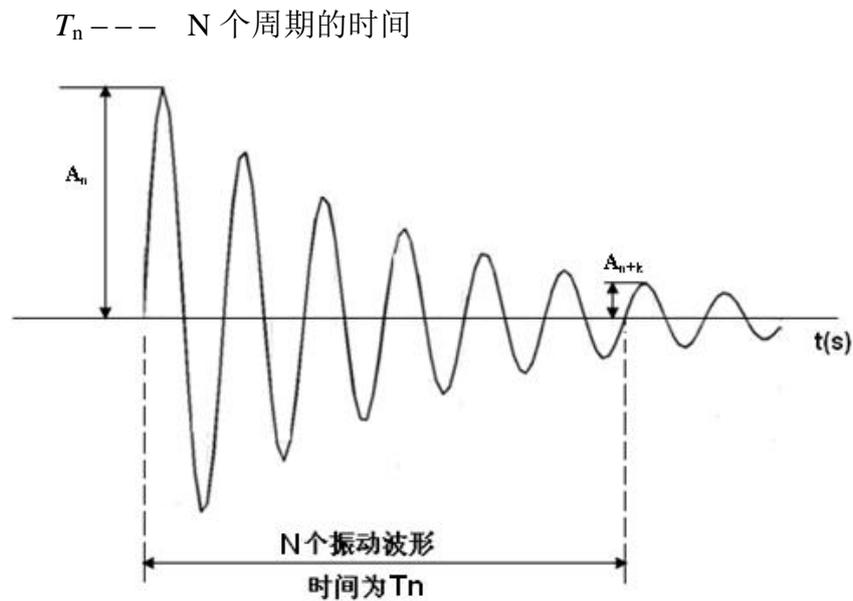
1、按布置图把仪器连接好等强度梁上贴有应变片，分别用半桥、全桥与动态电阻应变仪相连，检查无问题后，接通电源，并按照一定参数调好仪器。

2、在等强度梁上加重物  $m=5\text{kg}$ ，产生一初位移  $y_j$  然后用手适当压重物，突然松手，梁作衰减自由振动。与此同时，动态电阻应变仪，计算机记录下振动波形，如图所示。

$$\text{自振周期: } T = \frac{T_n}{N}$$

$$\text{自振频率: } f_{自} = \frac{1}{T} = \frac{N}{T_n}$$

$N$  --- 周期个数



圆频率  $\omega = 2\pi f_{\text{自}} = \frac{2\pi}{T}$

对数衰减系数  $\lambda = \frac{1}{k} \ln \frac{A_n}{A_{n+k}}$

阻尼比  $\xi = \frac{\lambda}{2\pi}$

式中:  $A_n$  --- 第  $n$  个波的峰值;

$A_{n+k}$  --- 第  $n+k$  个波的峰值。

#### 四、 实验报告要求

- 1、简述实验步骤。(其中包括画出实验框图及桥路连接的原理图等);
- 2、计算算自振频率  $f_{\text{自}}$ , 对数衰减系数和阻尼比;
- 3、简述动应变测量的特点(与静态应变电测法比较)。

#### 五、 思考题

- 1、结构动力特性的测试方法有哪几种? 各有何特点?

# 实验六 混凝土结构无损检测技术

## 一、实验目的

- 1、熟悉掌握回弹仪检测混凝土强度。
- 2、熟悉超声波法测混凝土裂缝深度和内部缺陷。
- 3、熟悉钢筋混凝土结构中钢筋及其混凝土保护层的检测

## 二、实验仪器设备

- 1、混凝土回弹仪
- 2、非金属超声仪（如ZBL-U520）
- 3、钢筋扫描仪（如ZBL-R630）
- 4、碳化深度测量仪和1%酚酞酒精溶液
- 5、冲击电钻及钢尺

## 三、实验内容

### 1、回弹法评定混凝土抗压强度

采用回弹仪对混凝土构件进行回弹值测定，采用钻孔法测试碳化深度，由回弹值和碳化深度按测区混凝土强度换算表确定混凝土强度换算值。

### 2、混凝土裂缝深度和内部缺陷检测

采用非金属超声仪，用平测法对混凝土表面裂缝深度进行检测，用对测法测试混凝土内部缺陷。

### 3、钢筋及其混凝土保护层的检测

采用钢筋扫描仪测试内部钢筋分布及其钢筋保护层厚度。

## 四、实验步骤

### 实验（一） 回弹法评定混凝土抗压强度

#### 1、实验目的

- （1）掌握回弹法评定混凝土抗压强度的测试方法；
- （2）熟悉回弹法无损检测技术。

#### 2、基本原理

回弹法是根据弹性能量与线性回弹值成一定比例的原理，以线性回弹值反映混凝土表面的硬度，根据混凝土表面硬度来推求混凝土抗压强度的一种检测方法。有关回弹法更详细的要求与说明请查阅《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》（JGJ/T23—2011）。

#### 3、检测仪器与使用方法

回弹法所使用的仪器称为回弹仪。回弹仪的构造如图 3.1 所示。

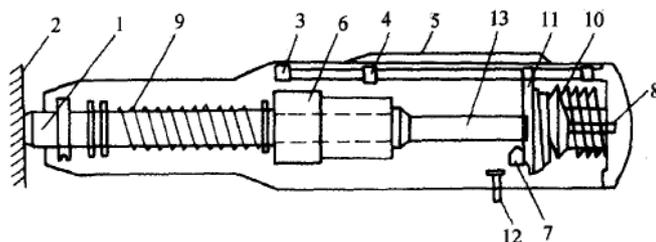


图 1 回弹仪构造

- 1 — 冲杆；2 — 试件；3 — 套筒；4 — 指针；5 — 标尺；6 — 冲锤；7 — 钩子；8 — 调整螺丝；  
9 — 拉力弹簧；10 — 压力弹簧；11 — 导向圆板；12 — 按钮；13 — 导杆

使用时，先压一下冲杆，使按钮脱离导向圆板，在压力弹簧的作用下，圆板连同导杆被推向前方，并带动指针回“零”，使冲杆伸出套筒，此时钩子勾住冲锤。然后将冲杆垂直地顶向试件表面，徐徐用力将其顶回套筒内，于是拉力弹簧就逐渐处于受力状态。最后当钩子被后盖调整螺丝顶开时，冲锤就借弹簧力冲击于冲杆上，冲击反力将锤弹回，并带动指针在标尺上指出回弹值。

#### 4、测区要求

(1) 对于一般构件，测区数不宜少于 10 个。当受检构件数量大于 30 个且不需要提供单个构件推定强度，或受检构件某一方向尺寸 $\leq 4.5\text{m}$ 且另一方向尺寸 $\leq 0.3\text{m}$ 时，每个构件的测区数量可适当减少，但 $\geq 5$ 个；

(2) 相邻两测区的间距不应大于 2m，测区离构件端部或施工缝边缘的距离不宜大于 0.5m，且不宜小于 0.2m；

(3) 测区宜优先选在能使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑侧面；

(4) 测区宜布置在构件的两个对称的可测面上。也可布置在同一侧面上，且应均匀分布。在构件的重要部位及薄弱部位应布置测区，并应避开预埋件；

(5) 测区的面积不宜大于  $0.04\text{m}^2$ （可取一个正方形  $a \times a$ ， $a \leq 20\text{cm}$ ，分为 16 个小格）；

(6) 测区表面应为混凝土原浆面，并应清洁、平整，不应有疏松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面；

(7) 测区应标有清晰的编号，并宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况。

#### 5、回弹值测量

(1) 检测时，回弹仪的轴线应始终垂直于混凝土检测面，缓慢施压，准确读数，快速复位。

(2) 测点宜在测区范围内均匀分布，相邻两测点的净距一般不小于 20mm，测点距结构物边缘或外露钢筋、预埋件的距离一般不小于 30mm。测点不应在气孔或外露石子上，同一测点只允许弹击一次。每一测区应记取 16 个回弹值，每一测点的回弹值读数精确至 1。

#### 6、碳化深度值测量

(1) 回弹值测量完毕后，应在有代表性的测区上测量碳化深度值，测点数不应少于构件测区数的 30%，应取其平均值作为该构件每个测区的碳化深度值。当碳化深度值极差值大于 2.0mm 时，应在每一个测区分别测量碳化深度值。

(2) 测量碳化深度值时，可用合适的工具在测区表面形成直径约 15mm 的孔洞，其深度应大于混凝土的碳化深度。然后除净孔洞中的粉末和碎屑，且不得用水擦洗。立即用浓度为

1% ~2%的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处，再用深度测量工具测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离 3 次，每次读数精确至 0.25mm，取 3 次平均值作为检测结果，精确至 0.5mm。

### 7、回弹值计算

(1) 计算测区平均回弹值时，应从该测区的 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值，然后将余下的 10 个回弹值按下列公式计算：

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10}$$

式中：  $R_m$  ——测区平均回弹值，精确至 0.1；  $R_i$  ——第  $i$  个测点的回弹值。

(2) 回弹仪非水平方向检测混凝土浇筑侧面时，应按下列公式修正：

$$R_m = R_{m\alpha} + R_{\alpha}$$

式中：  $R_{m\alpha}$  ——非水平方向检测时测区的平均回弹值，精确至 0.1；  $R_{\alpha}$  ——非水平方向检测时回弹值的修正值，见表 3.1

表 1 非水平方向检测时回弹值的修正值  $R_{\alpha}$

| $R_{m\alpha}$ | 检测角度 |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 向上   |      |      |      | 向下   |      |      |      |
|               | 90°  | 60°  | 45°  | 30°  | -30° | -45° | -60° | -90° |
| 20            | -6.0 | -5.0 | -4.0 | -3.0 | 2.5  | 3.0  | 3.5  | 4.0  |
| 25            | -5.5 | -4.5 | -3.8 | -2.8 | 2.3  | 2.8  | 3.3  | 3.8  |
| 30            | -5.0 | -4.0 | -3.5 | -2.5 | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 3.5  |
| 35            | -4.5 | -3.8 | -3.3 | -2.3 | 1.8  | 2.3  | 2.8  | 3.3  |
| 40            | -4.0 | -3.5 | -3.0 | -2.0 | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  |
| 45            | -3.8 | -3.3 | 2.8  | -1.8 | 1.3  | 1.8  | 2.3  | 2.8  |
| 50            | -3.5 | -3.0 | -2.5 | -1.5 | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  |

注：①  $R_{m\alpha}$  小于 20 或大于 50 时，均分别按 20 或 50 查表；②表中未列入的相应于  $R_{m\alpha}$  的修正值  $R_{\alpha}$ ，可用内插法求得，精确至 0.1。

(3) 回弹仪水平方向检测混凝土浇筑表面或底面时，应按下列公式修正：

$$R_m = R_m^t + R_a^t$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b$$

式中：  $R_m^t, R_m^b$  ——水平方向检测混凝土浇筑表面、底面时，测区的平均回弹值，精确至 0.1；  
 $R_a^t, R_a^b$  ——混凝土浇筑表面、底面回弹值的修正值，见表 3.2。

表 2 不同浇筑面的回弹值的修正值

| $R_m^t$ 或 $R_m^b$ | 表面修正值 $R_a^t$ | 底面修正值 $R_a^b$ | $R_m^t$ 或 $R_m^b$ | 表面修正值 $R_a^t$ | 底面修正值 $R_a^b$ |
|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| 20                | 2.5           | -3.0          | 40                | 0.5           | -1.0          |
| 25                | 2.0           | -2.5          | 45                | 0.0           | -0.5          |
| 30                | 1.5           | -2.0          | 50                | 0.0           | 0.0           |
| 35                | 1.0           | -1.5          | -                 | -             | -             |

注：①  $R_m^t$ 或 $R_m^b$  小于 20 或大于 50 时，均分别按 20 或 50 查表；②表中有关混凝土浇筑表面的修正系数，是指一般原浆抹面的修正值；③表中有关混凝土浇筑底面的修正系数，是指构件底面与侧面采用同一类模板在正常浇筑情况下的修正值；④表中未列入的相应于  $R_m^t$ 或 $R_m^b$  的  $R_a^t$ 或 $R_a^b$  值，可用内插法求得，精确至 0.1。

(4) 如检测时仪器非水平方向且测试面非混凝土的浇筑侧面，则应先按表 3.1 对回弹值

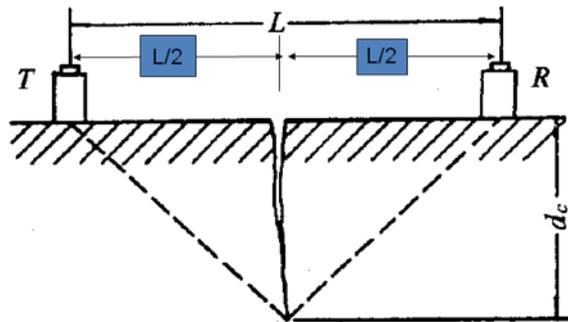
进行角度修正，然后再按表 3.2 对修正后的值进行浇筑面修正。

## 实验（二） 混凝土裂缝深度和内部缺陷检测

### 1、采用超声平测法，测试垂直裂缝深度

(1) 在没有缺陷的混凝土区，两探头间距为 100mm、150mm、200mm、250mm、300mm 时测试相应声时，并做好记录；

(2) 将两超声探头对称置于裂缝两边，测试二者间距为 100mm、150mm、200mm、250mm、300mm 的声时，并做好记录。



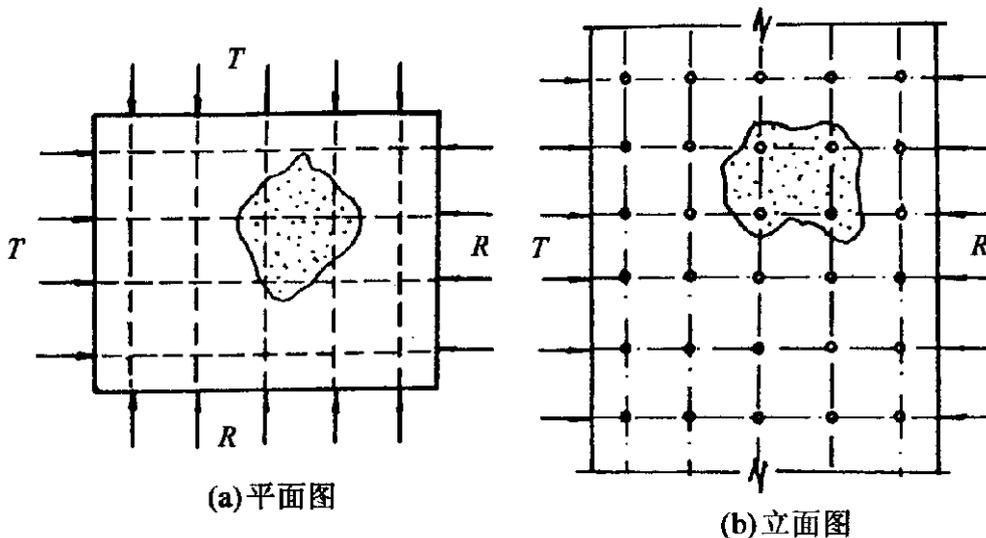
单面平测法检测裂缝深度

### 2、对测法测试混凝土内部缺陷

(1) 混凝土试件立面划分 100x100 网格，两对面网格线必须对齐，并对测试线和测点进行编号：测试线编号从左至右、从下至上，测点编号遵循 Z 或 N 型原则。

(2) 选择第 1 条测试线，在两对面的同一网格点（第 1 个网格点）各布置一个超声探头，测试二者之间的声时，然后重复该操作，顺序测试该测试线上其它对测点之间的声时。

(3) 重复 (2) 步骤，按 Z 或 N 型方式测试其它对测点声时。顺序测试第 2、3、…、n 条测试线上各对测点的声时。



混凝土缺陷检测对测法测点布置

## 实验（三） 钢筋及其混凝土保护层检测

### 1、检测仪器校准

探头放在空气中（远离钢筋等金属物体1米左右）进行测试，信号值显示为零。

## 2、钢筋位置及间距

探头垂直或平行梁板轴线方向移动，直到仪器显示接收信号最强或保护层厚度值最小时，探头中心线下方为钢筋位置，做好标记。按上述步骤将相邻的其它钢筋逐一标出，然后测量标记间距。

## 3、保护层厚度值测试

设定好仪器量程范围及钢筋直径，沿被测钢筋轴线选择相邻钢筋影响较小的位置，并应避开钢筋接头。每根钢筋的同一位置重复检测2次，每次读取1个读数C1、C2，两个读数差值不大于1mm，否则重测一次。

# 五、实验结果的整理与分析

## 1、混凝土强度的计算

(1) 构件第*i*个测区**混凝土强度换算值**，可按所求得平均回弹值  $R_m$  及平均碳化深度值  $d_m$  由表 3.3 查得。有地区测强曲线或专用测强曲线时，混凝土强度换算值应按地区或专用测强曲线换算得出。

表 3 测区混凝土强度换算表

| 平均回弹值<br>( $R_m$ ) | 测区混凝土强度换算值 $f_{cu,i}^c$ (MPa) |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                    | 平均碳化深度值 $d_m$ (mm)            |      |      |      |      |      |      |       |
|                    | 0                             | 0.5  | 1.0  | 2.0  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | ≥ 6.0 |
| 20                 | 10.3                          | 10.1 | -    | -    | -    | -    | -    | -     |
| 22                 | 12.5                          | 12.2 | 11.9 | 11.0 | 10.2 | -    | -    | -     |
| 24                 | 14.9                          | 14.6 | 14.2 | 13.1 | 12.2 | 11.5 | 10.7 | 10.1  |
| 26                 | 17.5                          | 17.2 | 16.6 | 15.4 | 14.4 | 13.5 | 12.6 | 11.6  |
| 28                 | 20.3                          | 19.7 | 19.2 | 17.6 | 16.5 | 15.4 | 14.4 | 13.2  |
| 30                 | 23.3                          | 22.6 | 21.9 | 20.0 | 18.6 | 17.4 | 16.4 | 14.7  |
| 32                 | 26.5                          | 25.7 | 24.9 | 22.8 | 21.2 | 19.6 | 18.4 | 16.4  |
| 34                 | 30.0                          | 29.1 | 28.0 | 25.6 | 23.7 | 22.1 | 20.4 | 18.3  |
| 36                 | 33.6                          | 32.6 | 31.2 | 28.2 | 26.2 | 24.5 | 22.4 | 20.2  |
| 38                 | 37.5                          | 36.4 | 34.9 | 31.5 | 29.2 | 27.4 | 24.8 | 22.5  |
| 40                 | 41.6                          | 39.9 | 38.3 | 34.5 | 31.7 | 30.0 | 27.0 | 25.0  |
| 42                 | 45.9                          | 44.1 | 42.2 | 37.6 | 34.9 | 33.0 | 29.8 | 27.5  |
| 44                 | 50.4                          | 48.4 | 46.4 | 41.3 | 38.3 | 36.3 | 32.8 | 30.2  |
| 46                 | 55.0                          | 52.8 | 50.6 | 45.2 | 41.9 | 39.7 | 35.8 | 33.1  |
| 48                 | 60.0                          | 57.6 | 55.2 | 49.2 | 45.6 | 43.2 | 39.0 | 36.0  |
| 50                 | -                             | -    | 59.6 | 53.4 | 49.5 | 46.9 | 42.3 | 39.1  |
| 52                 | -                             | -    | -    | 57.8 | 53.6 | 50.7 | 45.8 | 42.3  |
| 54                 | -                             | -    | -    | -    | 57.8 | 54.7 | 49.4 | 45.6  |
| 56                 | -                             | -    | -    | -    | -    | 58.9 | 53.2 | 49.1  |
| 58                 | -                             | -    | -    | -    | -    | -    | 57.0 | 52.7  |
| 60                 | -                             | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 56.4  |

注：表中未列入的数值，可用内插法求得，精确至 0.1，或详见《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》（JGJ/T23—2011）。

(2) 由各测区的**混凝土强度换算值**可计算得出结构混凝土的强度平均值。当测区数不少于 10 个时，还应计算强度标准差。平均值及标准差应按下列公式计算：

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

式中： $m_{f_{cu}^c}$ ——构件测区混凝土强度平均值（MPa），精确至 0.1MPa； $n$ ——对于单个检测的构件，取该构件的测区数，对批量检测的构件，取所有被抽检构件测区数值和； $S_{f_{cu}^c}$ ——混凝土强度标准差（MPa），精确至 0.01MPa。

(3) 混凝土强度推定值（ $f_{cu,e}$ ）应符合下列规定：

(a) 当构件测区数少于 10 个时，应按下式计算：

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c$$

式中： $f_{cu,min}^c$  为构件中最小的测区混凝土强度换算值。

(b) 当构件中测区强度值中出现小于 10.0MPa 时，应按下式确定：

$$f_{cu,e} < 10\text{MPa}$$

(c) 当构件测区数不少于 10 个时，应按下式计算： $f_{cu,e} = m_{f_{cu}^c} - 1.645S_{f_{cu}^c}$

表 4 回弹法检测原始记录表

第 组

| 编号   |    | 回弹值 $R_i$     |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    | 碳化深度 $d_i(\text{mm})$ |       |
|------|----|---------------|---|---|---|---|---|---|-----|------|----|----|----|----|----|---------|----|-----------------------|-------|
| 构件   | 测区 | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8   | 9    | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15      | 16 |                       | $R_m$ |
|      | 1  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 2  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 3  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 4  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 5  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 6  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 7  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 8  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 9  |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
|      | 10 |               |   |   |   |   |   |   |     |      |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |
| 测面状态 |    | 侧面、表面、底面、干、潮湿 |   |   |   |   |   |   | 回弹仪 | 型号：  |    |    |    |    |    | 回弹仪检定号： |    |                       |       |
| 测试角度 |    | 水平、向上、向下____度 |   |   |   |   |   |   |     | 率定值： |    |    |    |    |    | 测试人员：   |    |                       |       |
|      |    |               |   |   |   |   |   |   |     | 备注：  |    |    |    |    |    |         |    |                       |       |

测试：

记录：

计算：

测试日期：

表 5 构件混凝土强度计算表

构件名称及编号：

第 组

| 项目 \ 测区                 |        | 1                | 2 | 3 | 4                | 5 | 6 | 7                 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------|--------|------------------|---|---|------------------|---|---|-------------------|---|---|----|
|                         |        | 回弹值              |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
|                         | 测区平均值  |                  |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
|                         | 角度修正值  |                  |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
|                         | 角度修正后  |                  |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
|                         | 浇注面修正值 |                  |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
|                         | 浇注面修正后 |                  |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
| 平均碳化深度 $d_m(\text{mm})$ |        |                  |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
| 测区强度值 (MPa)             |        |                  |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |
| 强度计算 (MPa)              |        | $m_{f_{cu}^c} =$ |   |   | $S_{f_{cu}^c} =$ |   |   | $f_{cu,\min}^c =$ |   |   |    |
| 强度推定值 (MPa)             |        | $f_{cu,e} =$     |   |   |                  |   |   |                   |   |   |    |

测试：

计算：

复核：

测试日期：

- 2、裂缝深度测试结果计算分析。
- 3、混凝土内部缺陷大小大致分布位置图（平面、立面）。
- 4、钢筋分布图及其保护层厚度测试结果

## 六、实验报告

- 1、回弹法测试过程、实验数据处理及混凝土强度推定。
- 2、超声法测试裂缝深度及内部缺陷的实验过程和测试结果。
- 3、钢筋及其保护层后土测试过程和结果。

# 实验七 既有房屋综合检测技术实验

## 一、实验目的与要求

- 1、掌握水准仪、经纬仪、全站仪的基本操作方法；
- 2、熟悉房屋平面尺寸的测绘方法；
- 3、熟悉房屋变形测量（倾斜、沉降等）的方法。

## 二、实验仪器与设备

水准仪、经纬仪和全站仪（含测距仪）各 1 套

## 三、实验内容及步骤

实验内容：

- 1.熟悉各类测量仪器的操作使用方法；
- 2.学习房屋平面尺寸的测绘方法；
- 3.学习房屋变形测量的方法及检测结果的整理。

实验步骤：

### 1. 熟悉仪器

熟悉水准仪、经纬仪、全站仪（含测距仪）的安置操作方法，如：对中整平、观测读数、记录计算等，熟悉房屋检测相关规范。

### 2. 房屋平面尺寸测绘

对指定的既有房屋，结合设计图纸，利用激光测距仪、皮尺等设备，绘制房屋平面尺寸（以图1为例），同时测量室外底面至檐口高度。

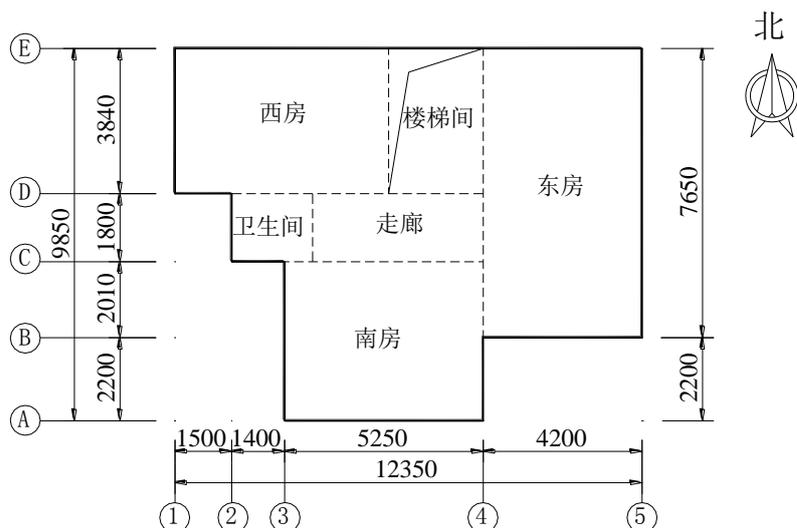


图 1 房屋平面尺寸

结合设计图和实际建筑，对图中的关键数据，使用测距仪或皮尺沿房屋外围依次进行测量，将测量数据记录下来，并结合图纸绘制房屋平面图。

### 3. 房屋变形测量

### (1) 房屋整体倾斜测量

为检测房屋的倾斜情况，参照中华人民共和国行业标准《建筑变形测量规程》（JGJ8-2007），采用电子经纬仪或全站仪对结构可进行观测的墙角进行了倾斜检测，以图2为例，分别测量各墙角点的倾斜方向、水平位移差和相对高度，并计算倾斜率，整理入相应表格，测量结果参考表1。

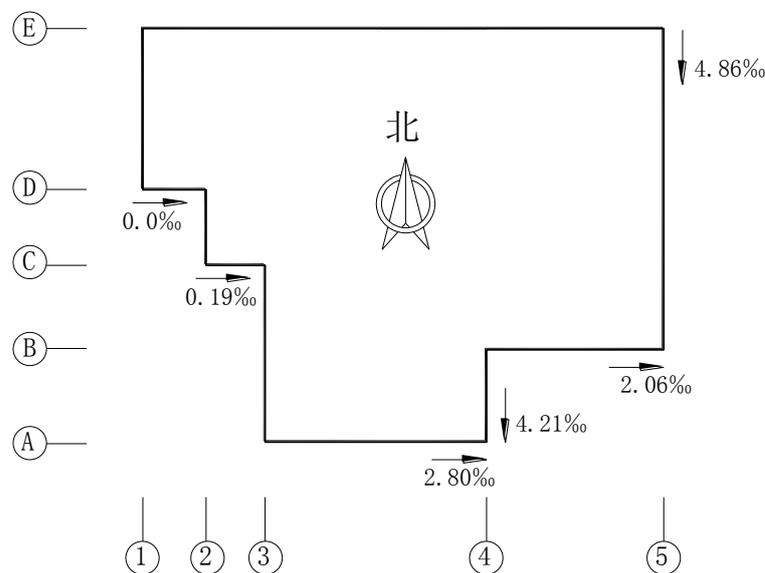


图 2 房屋倾斜示意图

表 1 房屋整体倾斜数据

| 测点位置 | 倾斜方向 | 水平位移差<br>(mm) | 相对高差<br>(m) | 倾斜率<br>(‰) |
|------|------|---------------|-------------|------------|
| A-4  | 东    | 30            | 10.7        | 2.81       |
|      | 南    | 45            | 10.7        | 4.21       |
| B-5  | 东    | 22            | 10.7        | 2.06       |
| C-2  | 东    | 2             | 10.7        | 0.19       |
| D-1  | 东    | 0             | 10.7        | 0.00       |
| E-5  | 南    | 52            | 10.7        | 4.86       |

根据检测数据，分析评价房屋的倾斜情况、倾斜量，参考相关规范，评价倾斜量是否合理、是否超限。

### (2) 房屋不均匀沉降检测

为检测房屋的不均匀沉降情况，参照中华人民共和国行业标准《建筑变形测量规程》（JGJ8-2007），采用水准仪和配套水准尺，分别对房屋东西向和南北向进行检测，测点布置及房屋相对不均匀沉降可参考图3。若房屋未设置沉降观测点，检测过程中可采取外墙窗台线或其他稳定特征面作为基准面。结合示意图，分别测量各沉降点的相对沉降值、测点间距离，计算沉降率，并将数据整理成表格，测量数据结果参考表2。

表 2 房屋不均匀沉降数据

| 检测方向         | 东西向   |      |      |      |     | 南北向   |      |    |
|--------------|-------|------|------|------|-----|-------|------|----|
| 测点号          | S1    | S2   | S3   | S4   | S5  | S6    | S7   | S8 |
| 测点相对沉降值 (mm) | 0     | -12  | -12  | -11  | -13 | -9    | 6    | 22 |
| 测点距离 (m)     | 3.3   | 1.67 | 2.79 | 0.58 |     | 4.32  | 2.83 |    |
| 最大相对不均匀沉降率   | 3.64‰ |      |      |      |     | 5.65‰ |      |    |

注：上述数据含施工误差。

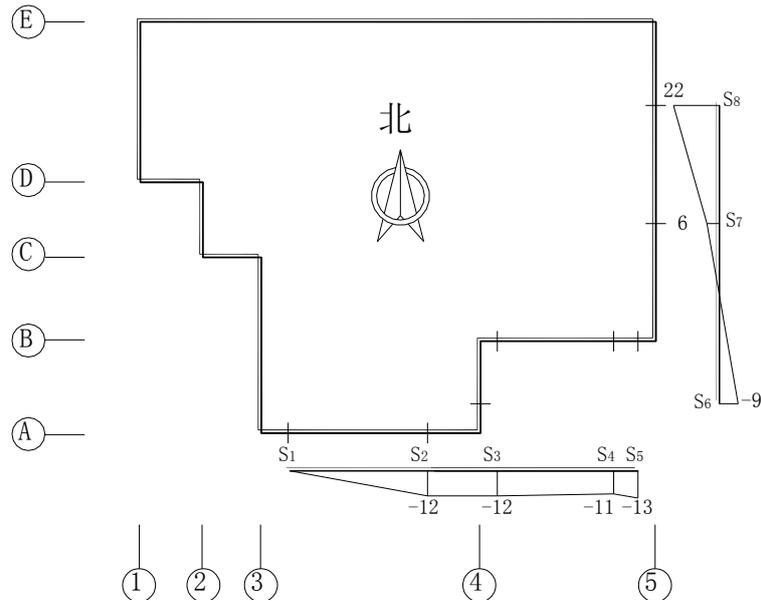


图 3 房屋不均匀沉降示意图 (mm)

根据示意图及测量结果，将房屋东西向和南北向最大相对不均匀沉降率与《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）中关于砌体承重结构基础局部倾斜容许值相比较，评价沉降是否符合规范要求，是否超限。同时综合不均匀沉降规律与整体倾斜规律综合评价房屋状况。

4.根据各项测量数据，综合分析并形成检测成果，按照要求做出评价报告（检测结论）。

#### 四、检测依据

- [1] 国家标准《建筑结构检测技术标准》（GB/T50344-2004）；
- [2] 国家标准《工程测量规范》（GB50026-2007）；
- [3] 国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）；
- [4] 上海市《地基基础设计规范》（DGJ08-11-2010, J11595-2010）；
- [5] 上海市《房屋质量检测规程》（DG/TJ08-79-2008）；
- [6] 上海市《既有建筑物结构检测与评定标准》（DG/TJ08-804-2005）。

#### 五、实验报告

每人上交一份附有的检测结果（数据）和分析评价的实验报告。结论主要包括房屋的现状、结构及类型，图纸情况，利用仪器情况，房屋平面尺寸，房屋整体倾斜情况、沉降情况，并结合检测数据和相关规范，做出评价和建议。