

# 土木工程结构试验 实验指导书

适用专业：土木工程（交通土建方向）

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6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，模型T梁桥的横向分布系数测定技术由陈晓冬副教授编写，路面检测实验由肖敏敏副教授编写、混凝土结构无损检测技术由吴志平副教授编写，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 模型 T 梁桥的横向分布系数测定技术 .....	6
实验四 路面检测实验——路面摩擦系数的测定.....	9
实验四 路面检测实验——路面平整度的测定.....	12
实验四 路面检测实验——路面回弹弯沉值的测定.....	14
实验五 结构基本动力特性参数测试.....	17
实验六 混凝土结构无损检测技术.....	19

# 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。

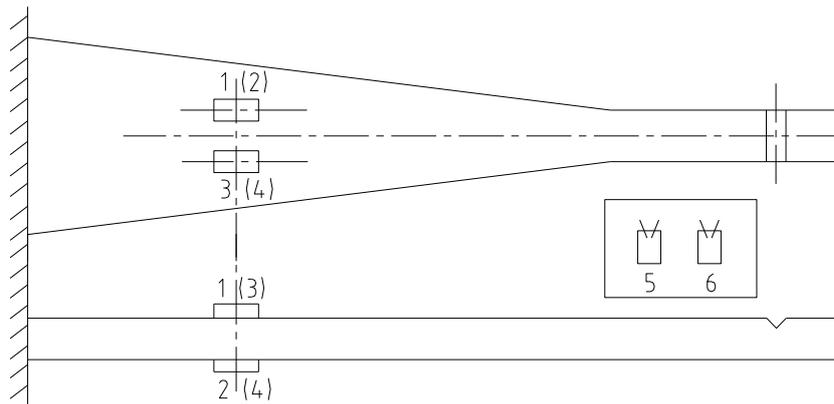


图 1 等强梁、应变片布置示意图

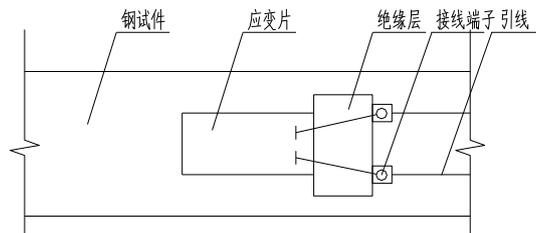


图 2 应变片引线固定示意图

## 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。

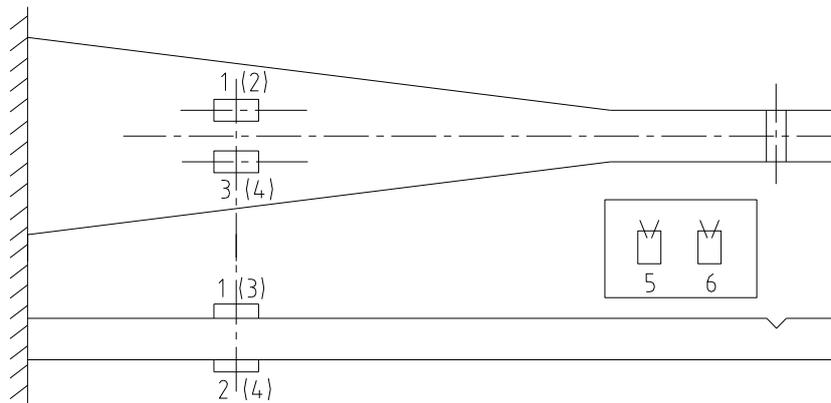


图 1 等强度梁、应变片布置示意图

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。

$$\varepsilon_r = \varepsilon_1 - \varepsilon_5 = (\varepsilon_{1m} + \varepsilon_{1t}) - (\varepsilon_{5m} + \varepsilon_{5t}), \text{ 而 } \varepsilon_{1m} = \varepsilon_m, \varepsilon_{5m} = 0, \varepsilon_{1t} = \varepsilon_{5t} \text{ 则 } \varepsilon_r = \varepsilon_m$$

(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。

$$\varepsilon_r = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = (\varepsilon_{1m} + \varepsilon_{1t}) - (\varepsilon_{2m} + \varepsilon_{2t}), \text{ 而 } \varepsilon_{1m} = \varepsilon_m, \varepsilon_{2m} = -\varepsilon_m, \text{ 则 } \varepsilon_r = 2\varepsilon_m$$

(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。  $\varepsilon_{1m} = \varepsilon_{3m} = \varepsilon_m$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_1 - \varepsilon_5 + \varepsilon_3 - \varepsilon_6 = 2\varepsilon_m$$

(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。  $\varepsilon_r = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = 4\varepsilon_m$

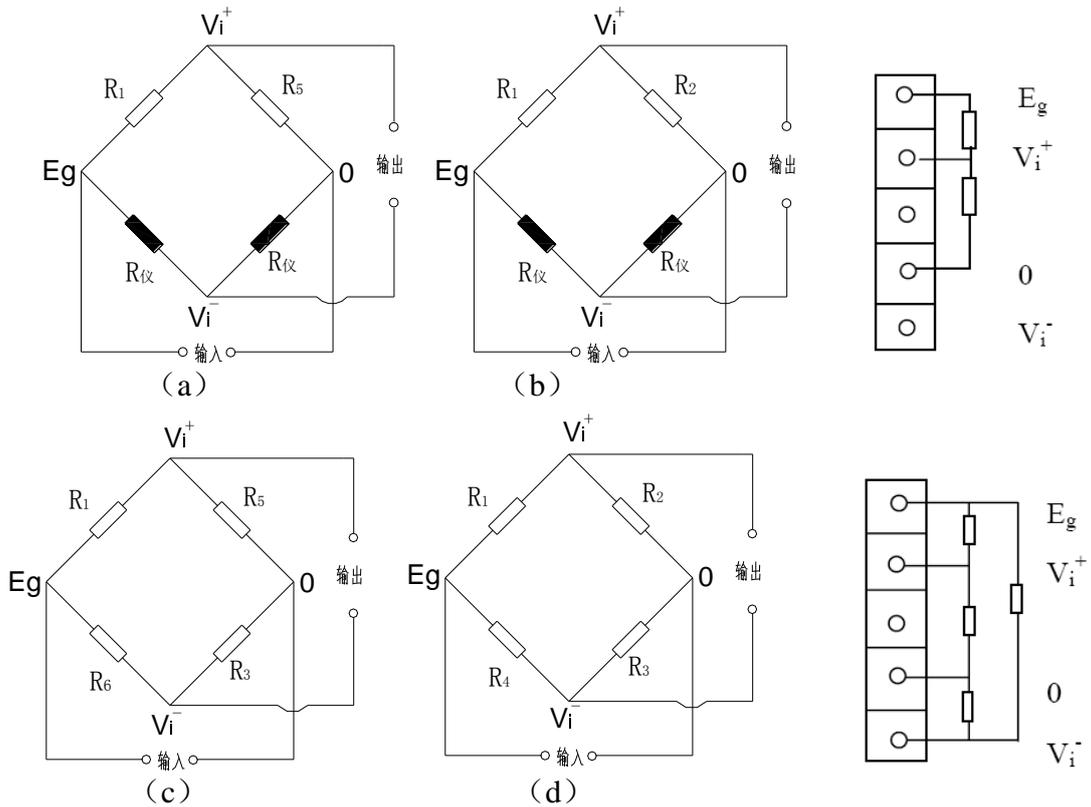


图 2 测量桥路示意图

## 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 真实值/ $\mu\varepsilon$	理论值	误差	桥臂系 数
	1	2	3					
接线方 式	a							
	b							
	c							
	d							

# 实验三 模型 T 梁桥的横向分布系数测定技术

## 一、实验目的与要求

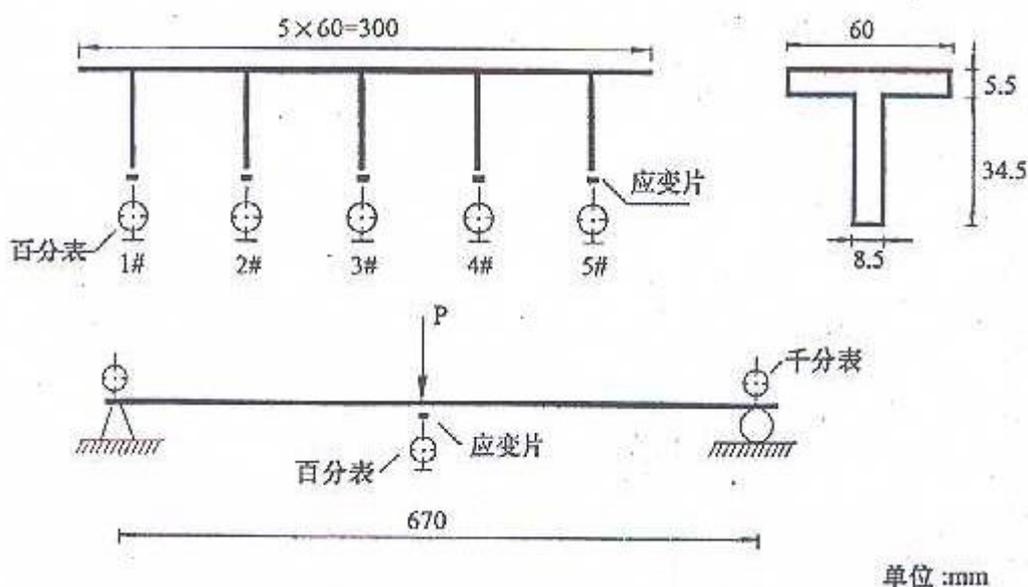
1. 观察 T 梁桥（无内横隔板）或自行设计的有机玻璃桥梁、板荷载横向分布现象。
2. 测出各主梁跨中荷载横向分布影响与刚性横梁法和刚接板（梁）法理论值比较。

## 二、实验仪器与设备

1. 实验用定时钟
2. 百分表、千分表、磁性表座
3. DH-3818 型静态电阻应变仪
4. 试验架及杠杆加载装置

## 三、实验内容及步骤

1. 模型材料为有机玻璃，把模型安装在试验架上用杠杆砝码分别在主梁跨中加载。
2. 用 DH-3818 型静态电阻应变仪或 IMP 数据自动采集系统测试跨中 5 片主料下缘应变值，测点如图 1 所示。
3. 用 5 只百分表测量各主梁跨中的挠度值，用功只千分表量测模型梁两端支座沉陷，测点布置如图 1 所示（具体尺寸可根据实际情况取用）



## 四、试验步骤

1. 加载及测读

利用结构对称分别在 1#、2#、3#主梁跨中加载，予压 5 kg，稳定 5 分钟后，应变仪及百分表、千分表各测点调零或读初读数，后正式加载至 30 kg，分三级加载，每级 10 kg，级间稳定 5 分钟，卸载，稳定 7 分钟后再换加载点加载测读。

2. 记录（记录表格附后）

## 五、试验数据整理与结果分析

1. 理论计算

①刚性横梁法（见范立础《桥梁工程》）

②刚接板（梁）法（见范立础《桥梁工程》）

计算式中的  $E$ 、 $\mu$  在试验之间测定，有关  $L$ 、 $b$ 、 $e$ 、 $h$  等尺寸有模型测得。

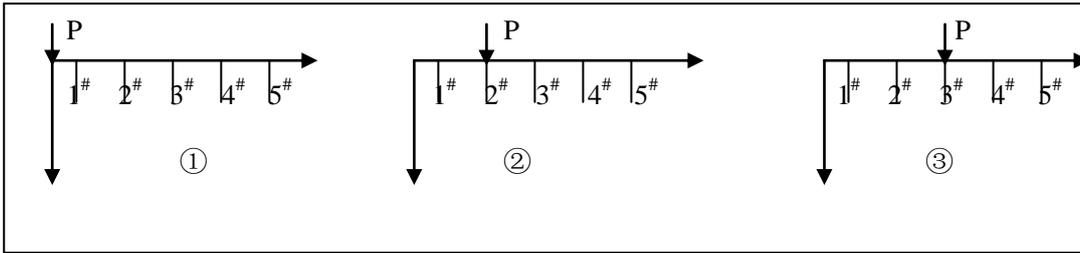
③计算结果列表

梁号	加载位置	刚性横梁法					钢接板（梁）法				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1#											
2#											
3#											

2. 实测结果列表

梁号	加载位置	挠度 $f_i/\Sigma f$					应变 $\mu \epsilon/\Sigma \mu \epsilon$				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1#											
2#											
3#											

### 3. 绘制实测与计算的横向分布曲线比较图



2) 每图四线可用不同的色笔或不同的线型画。

### 4. 试验结果分析

提示：从四线比较中，哪种理论计算方法比较符合模型桥。

### 5. 误差分析

提示：

- 1) 从试验观察中，有哪些是产生误差的因素
- 2) 实验过程中若有异样或反常现象，请力图解释清楚。

(附试验记录表)

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；

# 实验四 路面检测实验

## ——路面摩擦系数的测定

### 一、目的与适用范围

本方法适用于以摆式摩擦系数测定仪(摆式仪)测定沥青路面,标线或其他材料试件的抗滑值,用以评定路面或路面材料试件在潮湿状态下的抗滑能力。

### 二、仪器与材料技术要求

本方法需要下列仪器与材料:

(1) 摆式仪:形状及结构如图 T0964-1 所示。摆及摆的连接部分总质量为  $1500\text{g} \pm 30\text{g}$ ,摆动中心至摆的重心距离为  $410\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ,测定时摆在路面上滑动长度为  $126\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ,摆上橡胶片端部距摆动中心的距离为  $510\text{mm}$ ,橡胶片对路面的正向静压力为  $22.2\text{N} \pm 0.5\text{N}$ 。

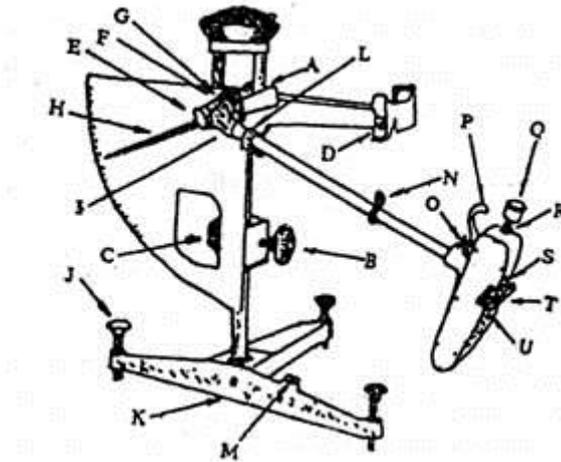


图 1 摆式仪结构示意图

(2) 橡胶片:当用于测定路面抗滑值时,其尺寸为  $6.35\text{mm} \times 25.4\text{mm} \times 76.2\text{mm}$ 。橡胶质量应符合表 T 0964-1 的要求。当橡胶片使用后,端部在长度方向上磨耗超过  $1.6\text{mm}$  或边缘在宽度方向上磨耗超过  $3.2\text{mm}$ ,或有油类污染时,即应更换新橡胶片。新橡胶片应先在干燥路面上测试 10 次后再用于测试。橡胶片的有效使用期从出厂日期起算为 12 个月。

(3) 滑动长度量尺:长  $126\text{mm}$ 。

(4) 喷水壶。

(5) 硬毛刷。

(6) 路面温度计:分度不大于  $1^\circ\text{C}$ 。

(7) 其他:扫帚,记录表格等。

表 T 0964-1 橡胶物理性质技术要求

性质	温度 (°C)				
	0	10	20	30	40
弹性 (%)	43~49	58~65	66~73	71~77	74~79
硬度 (IR)	55±5				

### 三、方法与步骤

#### 3.1 准备工作

(1) 检查摆式仪的调零灵敏情况，并定期进行仪器的标定。

(2) 按规范 JTG E60-2008 附录 A 的方法，进行测试路段的取样选点。在横断面上测点应选在行车道轮迹出，且距路面边缘应不小于 1m。

#### 3.2 测试步骤

(1) 清洁路面：用扫帚或其他工具将测点处的路面打扫干净。

(2) 仪器调平。

①将仪器置于路面测点上，并使摆的摆动方向与行车方向一致。

②转动底座上的调平螺栓，使水准泡居中。

(3) 调零。

①放松紧固把手，转动升降把手，使摆升高并能自由摆动，然后旋紧紧固把手。

②将摆固定在右侧悬臂上，使摆处于水平释放位置，并把指针拨至右端与摆杆平行处。

③按下释放开关，使摆向左带动指针摆动。当摆达到最高位置后下落时，用手将摆杆接住，此时指针应指零。

④若不指零，可稍旋紧或旋松摆的调节螺母。

⑤重复上述 4 个步骤，直至指针指零。调零允许误差为±1。

(4) 校核滑动长度。

①让摆处于自由下垂状态，松开固定把手，转动升降把手，使摆下降。与此同时，提起举升柄使摆向左侧移动，然后放下举升柄使橡胶片下缘轻轻触地，紧靠橡胶片摆放滑动长度量尺，使量尺左端对准橡胶片下缘；再提起举升柄使摆向右侧摆动，然后放下举升柄使橡胶片下缘轻轻触地，检查橡胶片下缘应与滑动长度量尺右端齐平。

②若齐平，则说明橡胶片两次触地的距离（滑动长度）符合 126mm 的规定。校核滑动长度时，应以橡胶片长边刚刚接触路面为准，不可借摆的力量向前滑动，以免标定的滑动长度

与实际不符。

③若不齐平，升高或降低摆或仪器底座的高度。微调时用旋转一起底座上的调平螺丝调整仪器底座的高度的方法比较方便，但需要注意保持水准泡居中。

④重复上述动作，直至滑动长度符合 126mm 的规定。

(5) 将摆固定在右侧悬臂上，使摆处于水平释放位置，并把指针拨至右端与摆杆平行处。

(6) 用喷水壶浇洒测点，使路面处于湿润状态。

(7) 按下右侧悬臂上的释放开关，使摆在路面滑过。当摆杆回落时，用手接住，读数但不记录。然后使摆杆和指针重新置于水平释放位置。

(8) 重复(6)和(7)的操作5次，并读记每次的摆值。单点测定的5个值中最大值与最小值不得大于3。如差值大于3时，应检查产生的原因，并再次重复上述各项操作，至符合规定为止。取5次测定的平均值作为单点的路面抗滑值（即摆值 BPN<sub>t</sub>）取整数。

(9) 在测点位置用温度计测记潮湿路表温度，准确至 1℃。

(10) 每个测点由3个单点组成，即需按以上方法在同一侧点处平行测定3次，以3次测定结果的平均值作为该测点的代表值（精确到1）。3个单点均应处于轮迹带上，单点间距离为3~5m。该测点的位置以中间单点的位置表示。

#### 四、抗滑值的温度修正

当路面温度为  $t(^\circ\text{C})$  时，测得的摆值为 BPN<sub>t</sub> 必须按式 (T0964-1) 换算成标准温度 20℃ 的摆值 BPN<sub>20</sub>。

$$\text{BPN}_{20} = \text{BPN}_t + \Delta \text{BPN}$$

式中：BPN<sub>20</sub>——换算成标准温度 20℃ 时的摆值；

BPN<sub>t</sub>——路面温度  $t$  时测得的摆值；

$\Delta \text{BPN}$ ——温度修正值按表 2 采用。

表 2 温度修正值

温度(°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
温度修正值 $\Delta \text{BPN}$	-6	-4	-3	-1	0	+2	+3	+5	+7

#### 五、报告

报告应包含如下内容：

(1) 路面单点测定值 BPN<sub>t</sub> 经温度修正后的 BPN<sub>20</sub>，现场温度 3 次的平均值。

(2) 评定路段路面抗滑值的平均值，标准差，变异系数。

# 实验四 路面检测实验

## ——路面平整度的测定

### 一、实验目的

1. 用于测定路表面的平整度，评定路面的施工质量和使用质量，不适用于在已有较多坑槽、破损严重的路面上测定。

2. 本方法规定用连续式平整度仪测量路面的不平整度的标准差（**错误!不能通过编辑域代码创建对象。**），以表示路面的平整度，以 mm 计。

### 二、器具

1. 连续式平整度仪：构造如示意图 1。除特殊情况外，连续式平整度仪的标准长度为 3m，其质量应符合仪器标准的要求。中间为一个 3m 长的机架，机架可缩短或折叠，前后各有 4 个行车轮，前后两组轮的轴间距离为 3m。机架中间有一个能起落的测定轮。机架上装有蓄电池电源及可拆卸的检测箱，检测箱可采用显示、记录、打印或绘图等方式输出测试结果。测定轮上装有位移传感器，距离传感器等检测器，自动采集位移数据时，测定间距为 10cm，每一计算区间的长度为 100m，输出一次结果。当为人工检测、无自动采集数据及计算功能时，应能记录测试曲线。机架头装有一牵引钩及手拉柄，可用人工或汽车牵引。

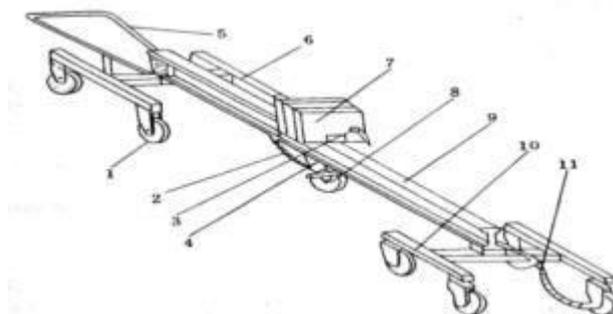


图 1 连续式平整度仪构造图

2. 牵引车：小面包车或其他小型牵引汽车。

3. 皮尺或测绳。

### 三、试验步骤

1. 准备工作

(1) 选择测试路段。

(2) 当为施工过程中质量检测需要时，测试地点根据需要决定；当为路面工程质量检查验收或进行路况评定需要时，通常以行车道一侧车轮轮迹带作为连续测定的标准位置。对旧路已形成车辙的路面，取一侧车辙中间位置为测定位置。按第一条第 2 项的规定在测试路段

路面上确定测试位置，当以内侧轮迹带（IWP）或外侧轮迹带（OWP）作为测定位置时，测定位置距车道标线 80~100cm。

（3）清扫路面测定位置处的脏物。

（4）检查仪器检测箱各部分是否完好、灵敏，并将各连续线接妥，安装记录设备。

## 2. 试验步骤

（1）将连续式平整度测定仪置于测试路段路面起点上。

（2）在牵引汽车的后部，将平整度的挂钩挂上后，放下测定轮，启动检测器及记录仪，随即启动汽车，沿道路纵向行驶，横向位置保持稳定，并检查平整度仪表上测定数字显示、打印、记录的情况。如遇检测设备中某项仪表发生故障，即须停止检测。牵引平整度仪的速度应保持匀速，速度宜为 5km/h，最大不得超过 12 km/h。在测试路段较短时，亦可用人力拖拉平整度仪测定路面的平整度，但拖拉时应保持匀速前进。

## 四、计算

1. 连续式平整度仪测定后，按每 10cm 间距采集的位移值自动计算每 100m 计算区间的平整度标准差（mm），还可记录测试长度（m）、曲线振幅大于某一定值（如 3 mm、5 mm、8 mm、10 mm 等）的次数、曲线振幅的单向（凸起或凹下）累计值及以 3m 机架为基准的中点路面偏差曲线图，计算打印。当为人工计算时，在记录曲线上任意设一基准线，每隔一定距离（宜为 1.5m）读取曲线偏离基准线的偏离位移值  $d_i$ 。

2. 每一计算区间的路面平整度以该区间测定结果的标准差表示，按下式计算：

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2 / N}{N - 1}}$$

式中  $\sigma_i$ —各计算区间的平整度计算值（mm）；

$d_i$ —以 100m 为一个计算区间，每隔一定距离（自动采集间距为 10cm，人工采集间距为 1.5m）采集的路面凹凸偏差位移值（mm）；

$N$ —计算区间用于计算标准差的测试数据个数。

3. 按附录 B 的方法计算每一个评定路段内各区间平整度标准差的平均值、标准差、变异系数。

## 五、报告

试验应列表报告每一个评定路段内各测定区间的平整度标准差、各评定路段平整度的平均值、标准差、变异系数及不合格区间数。

# 实验四 路面检测实验

## ——路面回弹弯沉值的测定

### 一、目的和适用范围

1.1 本方法适用于测定各类路基路面的回弹弯沉，用以评定其整体承载能力，可供路面结构设计使用。

1.2 沥青路面的弯沉以路表温度 20℃时为准，在其他温度测试时，对厚度大于 5cm 的沥青路面，弯沉值应予温度修正。

### 二、引用标准

JTJ059-95 《公路路基路面现场测试规程》

### 三、器具与材料

本试验需要下列器具与材料：

3.1 标准车：双轴、后轴双侧 4 轮的载重车，其标准轴荷载、轮胎尺寸、轮胎间隙及轮胎气压等主要参数应符合表 3 的要求。测试车可根据需要按公路等级选择，高速公路、一级公路及二级公路应采用后轴 10t 的 BZZ-100 标准车；其他等级公路可采用后轴 6t 的 BZZ-60 标准车。

表 3 测定弯沉用的标准车参数

标准轴载等级	BZZ-100	BZZ-60
后轴标准轴载 P (kN)	100±1	60±1
一侧双轮荷载 (kN)	50±0.5	30±0.5
轮胎充气压力 (Mpa)	0.70±0.05	0.50±0.05
单轮传压面当量圆直径 (cm)	21.30±0.5	19.50±0.5
轮隙宽度	应满足能自由插入弯沉仪测头的测试要求	

3.2 路面弯沉仪：由贝克曼梁、百分表及表架组成，贝克曼梁由合金铝制成，上有水准泡，其前臂（接触路面）与后臂（装百分表）长度比为 2：1。弯沉仪长度有两种：一种长 3.6m，前后臂分别为 2.4m 和 1.2m；另一种加长的弯沉仪长 5.4m，前后臂分别为 3.6m 和 1.8m。当在半刚性基层沥青路面或水泥混凝土路面上测定时，宜采用长度为 5.4m 的贝克曼梁弯沉仪，并采用 BZZ-100 标准车。弯沉采用百分表量得，也可用自动记录装置进行测量。

3.3 接触式路表温度计：端头为平头，分度不大于 1℃。

3.4 其他：皮尺、口哨、白油漆或粉笔、指挥旗等。

## 四、试验方法

### 4.1 准备工作

(1) 查并保持测定用标准车的车况及刹车性能良好,轮胎内胎符合规定充气压力。

(2) 汽车车槽中装载(铁块或集料),并用地中衡或野外承重测试仪称量后轴总质量,符合要求的轴重规定,汽车行驶及测定过程中,轴重不得变化。

(3) 测定轮胎接地面积:在平整光滑的硬质路面上用千斤顶将汽车后轴顶起,在轮胎下方铺一张新的复写纸,轻轻落下千斤顶,即在方格纸上印上轮胎印痕,用求积仪或数方格的方法测算轮胎接地面积,准确至  $0.1\text{cm}^2$ 。

(4) 查弯沉仪百分表测量灵敏情况。

(5) 在沥青路面上测定时,用路表温度计测定试验时气温及路表温度(一天中气温不断变化,应随时测定),并通过气象台了解前 5d 的平均气温(日最高气温与最低气温的平均值)。

(6) 记录沥青路面修建或改建时材料、结构、厚度、施工及养护等情况。

### 4.2 路基路面回弹弯沉测试步骤

(1) 测试路段布置测点,其距离随测试需要而定。测点应在路面行车车道的轮迹带上,并用白油漆或粉笔划上标记。

(2) 将试验车后轮轮隙对准测点后约 3—5cm 处的位置上。

(3) 将弯沉仪插入汽车后轮之间的缝隙处,与汽车方向一致,梁臂不得碰到轮胎,弯沉仪测头置于测点上(轮隙中心前方 3—5cm 处),并安装百分表于弯沉仪的测定杆上,百分表调零,用手指轻轻叩打弯沉仪,检查百分表是否稳定回零。弯沉仪可以是单侧测定,也可以是双侧同时测定。

(4) 测定者吹哨发令指挥汽车缓缓前进,百分表随路面变形的增加而持续向前转动。当表针转动到最大值时,迅速读取初读数  $L_1$ 。汽车仍在继续前进,表针反向回转,待汽车驶出弯沉影响半径(约 3m 以上)后,吹口哨或挥动指挥红旗,汽车停止。待表针回转稳定后,再次读取终读数  $L_2$ 。汽车前进的速度宜为 5Km/h 左右。

### 4.3 弯沉仪的支点变形修正

(1) 当采用长度为 3.6m 的弯沉仪对半刚性基层沥青路面、水泥混凝土

路面等进行弯沉测定时,有可能引起弯沉仪支座处变形,因此测定时应检验支点有无变形。此时应用另一台检验用的弯沉仪安装在测定用弯沉仪的后方,其测点架于测定用弯沉仪的支点旁。当汽车开出时,同时测定两台弯沉仪的弯沉读数,如检验用弯沉仪百分表有读数,即应该记录并进行支点变形修正。当在同一结构层上测定时,可在不同位置测定 5 次,求取平均值,以后每次测定时以此作为修正值。

(2) 当采用长度为 5.4m 的弯沉仪测定时, 可不进行支点变形修正。

## 五、结果计算及温度修正

5.1 路面测点的回弹弯沉值依式 (1) 计算:

$$L_T = (L_1 - L_2) \times 2 \quad (1)$$

5.2 当需要进行弯沉仪支点变形修正时, 路面测点的回弹弯沉值按式 (2) 计算。

$$L_T = (L_1 - L_2) \times 2 + (L_3 - L_4) \times 6 \quad (2)$$

5.3 沥青面层厚度大于 5cm 的沥青路面, 回弹弯沉值应进行温度修正, 温度修正及回弹弯沉的计算宜按下列步骤进行。

(1) 测定时的沥青层平均温度按式 (3) 计算:

$$T = (T_{25} + T_m + T_e) / 3 \quad (3)$$

(2) 采用不同基层的沥青路面弯沉值的温度修正系数  $K$ , 根据沥青层平均温度  $T$  及沥青层厚度, 分别由图 (3) 及图 (4) 求取。

(3) 沥青路面回弹弯沉按式 (4) 计算:

$$L_{20} = L_T \times K \quad (4)$$

式中:  $K$ ——温度修正系数;

$L_{20}$ ——换算为 20℃ 的沥青路面回弹弯沉值 (0.01mm);

$L_T$ ——测定时沥青面层内平均温度为  $T$  时的回弹弯沉值 (0.01mm)。

按式 (5) 计算每一个评定路段的代表弯沉:

$$L_r = L + Z_a S \quad (5)$$

式中:  $L_r$ ——一个评定路段的代表弯沉 (0.01mm);

$L$ ——一个评定路段内经各项修正后的各测点弯沉的平均值 (0.01mm);

$S$ ——一个评定路段内经各项修正后的全部测点弯沉的标准差 (0.01mm);

$Z_a$ ——与保证率有关的系数, 采用下列数值:

高速公路、一级公路  $Z_a = 2.0$

二级公路  $Z_a = 1.645$

二级以下公路  $Z_a = 1.5$

## 六、报告

报告应包括下列内容:

(1) 弯沉测定表、支点变形修正值、测试时的路面温度及温度修正值。

(2) 每一个评定路段的各测点弯沉的平均值、标准差及代表弯沉。

# 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。

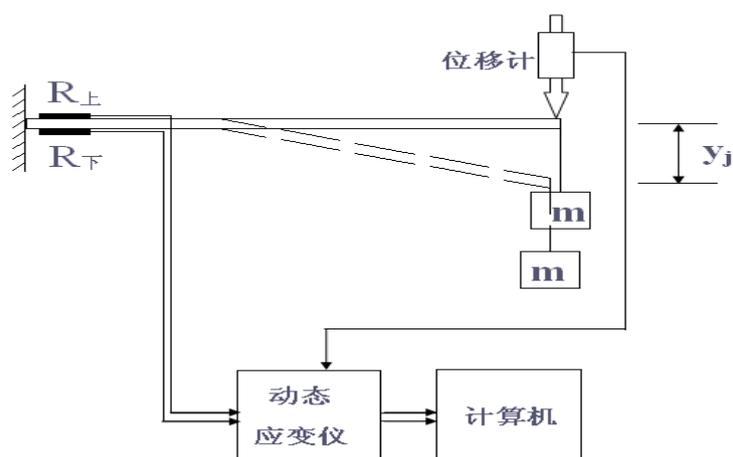


图 1 实验布置如图

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。

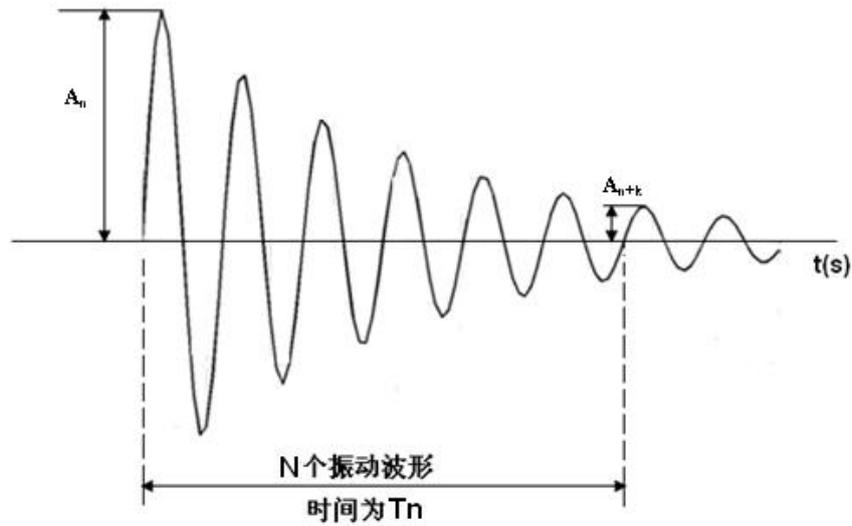
2、在等强度梁上加重物  $m=5\text{kg}$ ，产生一初位移  $y_j$  然后用手适当压重物，突然松手，梁作衰减自由振动。与此同时，动态电阻应变仪，计算机记录下振动波形，如图所示。

$$\text{自振周期: } T = \frac{T_n}{N}$$

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

$N$  --- 周期个数

$T_n$  --- N个周期的时间



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。

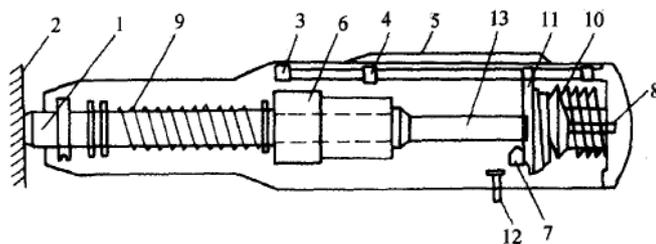


图 1 回弹仪构造

- 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

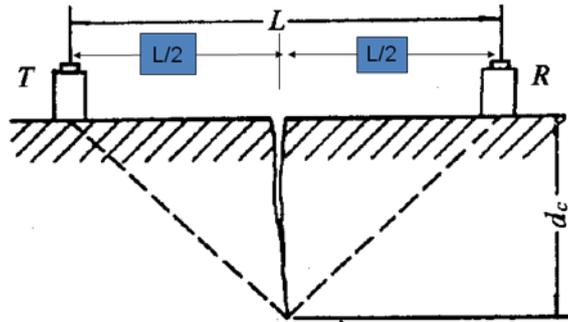
进行角度修正，然后再按表 3.2 对修正后的值进行浇筑面修正。

## 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。



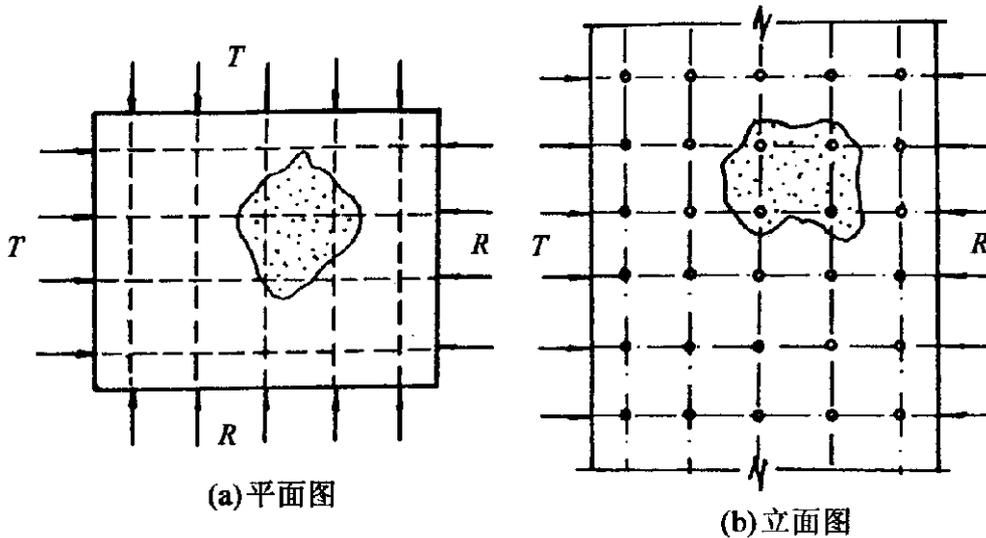
单面平测法检测裂缝深度

### 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 ( $R_m$ )	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	$\geq 6.0$
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（ $f_{cu,e}$ ）应符合给下列规定：

(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 $d_m$ (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。