

土木工程实验 实验指导书

适用专业：土木工程等

建筑与土木工程学院

前 言

土木工程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5个试验,共计12学时,包括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、混凝土结构无损检测技术、钢桁架全过程静载实验、钢筋混凝土梁正截面受弯性能实验、结构基本动力特性参数测试。限于作者水平,书中可能会存在不当之处,恳请批评指正。。

目 录

学生实验守则	2
实验一 电阻应变片及应变仪的使用	3
1.1 应变片的粘贴	3
1.2 电阻应变仪的使用及应变桥路检测.....	4
试验二 混凝土结构无损检测技术	8
2.1 回弹法检测混凝土强度	8
2.2 钢筋及其混凝土保护层检测	9
试验三 钢桁架静载试验	11
试验四 钢筋混凝土梁正截面受弯性能实验	13
试验五 钢框架（动力特性）动载实验	17

学生实验守则

1. 整个试验过程中，应特别注意安全问题，避免穿着可能产生安全问题的着装的同时应注意佩戴相应的防护措施，避免触电、烫伤、烧伤等事故，发现问题应及时报告授课教师或实验指导教师。
2. 实验前必须做好预习工作，认真研读本实验指导，明确实验目的、基本原理及操作要点，并应对实验所用的仪器、材料有基本的了解。小组成员应根据预习的实验内容分工明确，协调工作，准备好必要的表格及记录设备。经考查预习不符合要求者，实验指导老师有权不准其参加本次实验，并定期补做。
3. 实验课不得迟到、早退和无故缺席，请假应事先由班长或学委通知教师，并出示必要证明。
4. 实验时需保持整洁、安静、禁止乱扔纸片、杂物和随地吐痰，不得喧哗和随意走动，室内严禁吸烟。实验中不得阅读与实验无关的书、报、杂志、手机等。
5. 实验进行前，先检查仪器设备完整与否，非指定设备不得动用。按要求安装仪器，经指导教师检查合格后方可进行实验。
6. 实验进行中应集中精力观察，以求得出正确的数据和结论，并根据实验要求实事求是的记录试验数据和结果。实验结果需经指导教师初审方可拆去装置，仪器收拾整齐并归位。
7. 实验后配合指导老师对实验设备及实验室进行清理打扫。注意节约用水、电、爱护室内一切财产，室内物品未经保管人员同意不得随意搬运或带出。
8. 按照有关规定对实验结果进行分析，得出相应结论，做好实验报告。

实验一 电阻应变片及应变仪的使用

1.1 应变片的粘贴

一、试验目的

依据规范 GB/T 13992-2010《金属粘贴式电阻应变计》进行实验，掌握电阻应变片的选用原则和方法、掌握应变片的粘贴技术，学会防潮层的制作、为电阻应变片测实验做好前期准备工作。同时对学生进行科学研究的基本训练，培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

- 1.数字万用表；
- 2.粘结剂（502 胶或 914 胶）；
- 3.常温电阻应变片；
- 4.等强度悬臂梁（或钢筒支梁）及小钢块；
- 5.砂纸、棉纱、电烙铁、焊丝、镊子、松香、湿毛巾等小工具；
- 6.环氧树脂（带固化剂），丙酮或其他挥发性溶剂；
- 7.相应长度胶合导线 6 根。

三、实验步骤

1.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.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° 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。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。（丙酮具有一定毒性，此过程需注意做好防护及通风防火措施）

3.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. 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. 进行贴片质量检查。主要包括以下三个方面：（1）外观检查：观察贴片方位是否正确，应变计有无损伤，粘贴是否牢固和有无气泡等；（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 120Ω ，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. 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。

四、试验结果

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。

1.2 电阻应变仪的使用及应变桥路检测

一、试验目的

依据规范 GB/T 13992-2010《金属粘贴式电阻应变计》进行实验，掌握静态电阻应变仪调试及使用方法。学会单点、多点测量方法及 1/4 桥、半桥、全桥接法，培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 常温电阻应变片及导线；
2. 等强度悬臂梁（或钢筒支梁）及小钢块；
3. 静态应变采集仪；
4. 数字万用表等。

三、实验原理及内容

1. 实验原理

电阻应变仪的 ε 读数 ε_r 与其各桥臂应变片 ε_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：

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6PX}{bh^2} = \frac{6P}{ah^2} \quad (0.1)$$

由此看出等强度悬臂梁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 1.1 所示。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 表示。

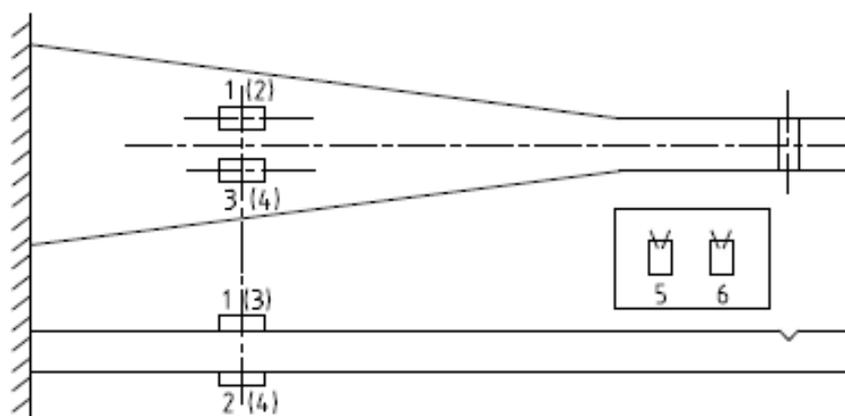


图 1.1 等强度悬臂梁应变片布置示意图

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

(1) 半桥单补接法（图 1.2 (a)，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。

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

则 $\varepsilon_r = \varepsilon_m$

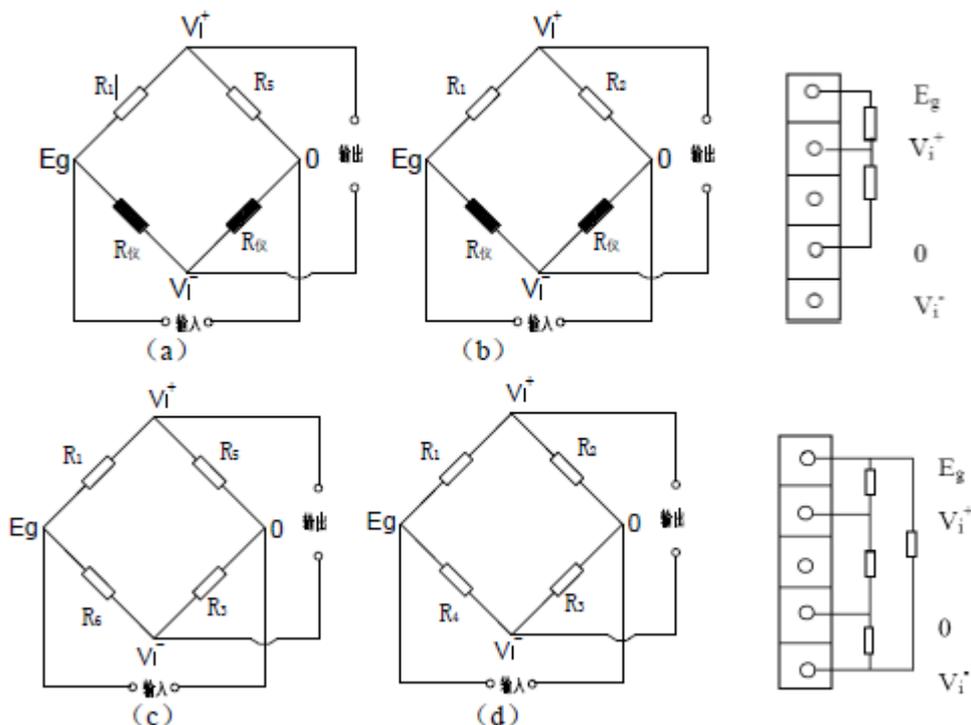


图 1.2 测量桥路示意图

(2) 半桥互补接法 (图 1.2b)

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 1.2 (c))

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 1.2 (d))

这种接法四个桥臂都是工作片, 灵敏系数提高到 4 倍。

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

四、实验步骤

1. 采用万用表测各电阻应变片的对梁绝缘电阻 $> 100 \text{ M}\Omega$, 自身电阻 120Ω 左右。

2. 按图 1.2 (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, $9.8 \times 5 \text{ N}$), 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。

3. 按图 1.2 (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、结果计算

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值按式(1.2)进行仪器误差修正，得出真实应变值 $\varepsilon_{片}$ 。

$$K_{仪} \varepsilon_{仪} = K_{片} \varepsilon_{片} \quad (0.2)$$

其中： $K_{仪}=2$ ， $\varepsilon_{仪}$ 即为读数值， $K_{片}$ 一般为 2.06（可由购买的产品说明获得）。

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。

表 1 1/4 桥接线实验数据

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/ $\mu\varepsilon$												

表 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							

试验二 混凝土结构无损检测技术

2.1 回弹法检测混凝土强度

一、试验目的

依据规范 GB/T 50784-2013《混凝土结构现场检测技术标准[附条文说明]》和 JGJ/T23—2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》进行实验，进行科学研究的基本训练，掌握回弹仪检测混凝土强度的方法，熟悉了解超声波法测混凝土裂缝深度和内部缺陷的方法。进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1.回弹仪：回弹仪应符合现行行业标准《回弹仪检定规程》JJG 817-2011 的规定。其构造如图 2.1 所示

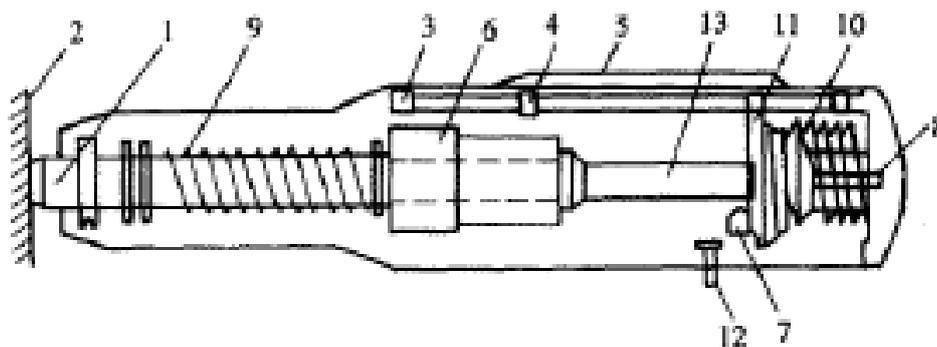


图 2.1 回弹仪构造

1—冲杆；2—待测试件；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

三、实验步骤

1. 测区划分

(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 ≥ 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，并应避免预埋件；

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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/388110110035007006>