

材料力学实验指导书

上海工业大学

一九八一年八月

绪 论

(一) 拉伸试验

(二) 压缩试验

(三) 拉伸时材料弹性常数 E , μ 的测定

(四) 扭转试验

(五) 梁弯曲正应力电测试验

(六) 弯扭组合试验

(七) 硬度试验

(八) 冲击试验

(九) 疲劳试验(示范性)

(十) 光弹性试验(示范性)

(十一) 平面应变断裂韧性 K_{Ic} 试验(示范性)

附 录

(I) UI-25型油压式万能试验机简单介绍

(II) K-50型扭转机简单介绍

(III) YJD-1型, YJ-5型电阻应变仪简单介绍

编写者:

上海工业大学力学教研组

张三弟 蒋荆娥 谢静宜 于兴棣

吴益敏 江培元 褚伟仁 宁 俊

绪 论

一、实验在材料力学课程中的地位

研究材料力学问题时，实验占着极重要的地位。材料力学是一门研究构件承载能力的科学，而构件的承载能力又由材料的机械性质例如 E ， μ ， σ_s ， σ_b 等等所决定，因此在选择材料时，必须对它的机械性质有所了解，其了解的唯一方法只有通过材料力学实验。

同时，材料力学的理论部分，所以能避免繁琐复杂的数学计算，而用简易的方法来解决实际工程问题，这是和实验分不开的。材料力学所研究的都是实际问题，和其它的科学一样，它的研究方法有实验，假设，理论，分析，和实验验证等过程。在建立材料力学理论问题的时候，首先需要从实验中观察变形现象，略去次要的因素，作出假设，把问题加以简化，以进行理论分析，在理论分析后，所得到的结论是否正确还得由实验来验证。由此可见，材料力学实验是材料力学中的一个重要组成部分。

二、实验的目的和内容

材料力学实验的目的有三：

1. 研究材料在各种载荷作用下的破坏现象及机械性质。
2. 对材料力学课程中学到的理论进行验证，以及通过实验，进一步建立该学科的理论。
3. 通过实验还要求同学了解试验所用的主要机器及仪器的作用原理，熟悉一般操作规程，培养同学独立工作和进行科研的能力。

实验内容分为二类：

- (1) 基本实验：测定材料的机械性质，及验证理论假设的正确性。
按载荷作用方式可分：
 - ① 静力试验：拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲、断裂韧性等等。
 - ② 动力试验：冲击、疲劳等。
 - ③ 硬度试验：

(i) 静力硬度试验：布氏法、洛氏法、维氏法等（压入法）。

(ii) 动力硬度试验：锤击法、弹性回跳法、刻痕法等。

(2) 在理论方法尚未解决的某些构件的强度、应力分布等问题可用实验方法来解决，这方面可分为：

① 直接研究构件的应力状态：电测法、x 光透射法、脆性涂层法等。

② 研究构件模型中的应力状态：光弹性、电流比拟法、薄膜比拟法、云纹法、散斑法等。

三、一般实验方法指导：

实验是同学学好材料力学课程的重要环节，也是培养同学进行科学研究，提高独立工作能力的机会，因此必须认真对待。

为了通过实验课的感性认识，更好验证和巩固在课堂中学到的理论，要求同学在实验前必须作好充分准备，试验过程中必须有一定的领导，组织和分工合作，认真观察各种现象，并记录必要的数据，以期得到与理论相吻合的结果，但有时往往由于实验技术和仪器设备等免不了有误差，为此必须对实验结果进行分析，找出误差原因及克服办法，有必要时要继续重做。

具体进行实验时还需要注意下面几个问题：

1. 试件的尺寸：材料的机械性质特别是破坏现象，和试件的尺寸形状有一定关系，为了使试验结果能与其他同类型的试验进行比较，以得到一致的结论，试件必须根据国家标准加工制造。

2. 试件的加力：主要依靠加力设备，如万能试验机，扭转试验机等，其中万能试验机使用广泛，同学必须要正确掌握。

在试验时将根据不同的试验目的，选用不同的机器，同时根据试件所能承受的最大载荷选定机器的载荷范围，应尽量使所选的载荷吨位与试件的最大承载力接近，因为机器的量程越大，其读数误差也越大，会使试验结果不准。

在试验时，当把试件装上试验机后，为了使试件与机器很好的接触，必须施加一定载荷，然后再均匀缓慢加载，并在一定的载荷间隔中记下需要的变形数据。

3. 试件变形的测量：在一般情况下，试件的变形很微小，因此要借助测量变形的仪器（如电阻应变仪等可参阅附录），这些仪器是比较贵重精密的，使用时务须谨慎小心。

4. 数据的记录：为了对实验的结果进行分析处理，应在实验过程中记录必要的数椐，为此要在实验前准备好记录表格。

5. 试验报告：对记录数椐进行分析，处理、计算、并把观察到的各种现象如实记录下来，画出相应的图线与试件破坏形式立体图，最后把试验结果与理论进行对比，和误差分析。

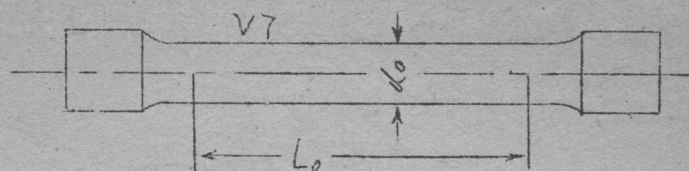


图 1 - 1

试验表明，试验的尺寸和形状对试验结果有影响，为了对各种材料性质的试验结果能进行比较，试验的尺寸和形状必须符合国家规定的标准，见国家标准 GB228-76。

国家标准把试件分成两类：

(1) 十倍长试件 $L_0 = 10d_0$ ， $d_0 = 20$ 毫米

(2) 五倍短试件 $L_0 = 5d_0$ ， $d_0 = 20$ 毫米

对于矩形截面（见国家标准 GB228-76 表 1）则按：

(1) 十倍比例试样为 $L_0 = 11.3 \sqrt{F_0}$ 。

(2) 五倍比例试样为 $L_0 = 5.65 \sqrt{F_0}$ 。其中 F_0 为矩形截面积。

积。

四、试验原理及方法

低碳钢屈服极限 σ_s ，强度极限 σ_b ，延伸率 δ 和截面收缩率 ψ 的测定。

在低碳钢拉伸试验中，载荷 F 与变形 ΔL 成线性关系，阶段 OA 称为弹性阶段，屈服阶段 B-B₁-B₂ 形成锯齿形如图 1-2 所示，并且也常出现上下两个屈服点 B 和 B₁，因上屈服点 B 要受变形速度和试样形式等的影响，而下屈服点 B₁ 比较稳定，所以工程上均以下屈服点 B₁ 作为材料的屈服极限，即当测力指针回转后所指示的最小载荷 P_s ，将其除以试件原横截面面积 F_0 即得屈服极限

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

屈服阶段后，曲线上升，当载荷增至图 1-2 中 C 点时，达到最大值 P_b ，此时在试件某处开始产生局部伸长和颈缩现象，细颈

出现后，截面面积迅速减小，载荷也随着迅速下降，此时刻度盘上的主针开始后退，而指针则停在载荷最大值的刻度上，此值即为

P_b ，由 $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$ 就得到强度极限。

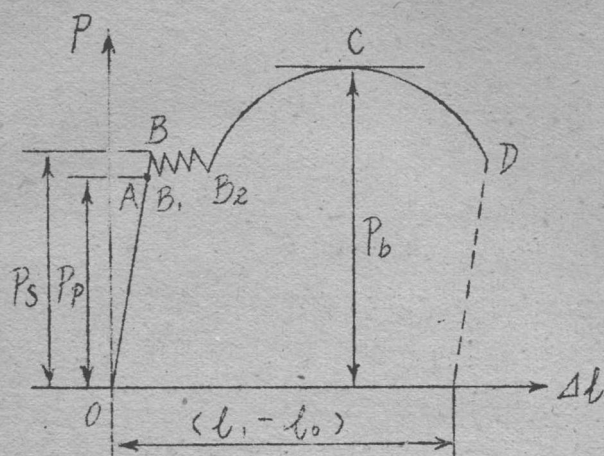


图 1 - 2

铸铁拉伸试件在变形极小时，就达到最大载荷 P_b （图 1 - 3）而突然发生断裂。没有屈服和颈缩现象。

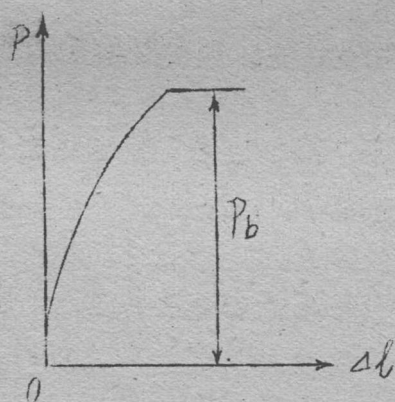


图 1 - 3

材料的塑性性能，是以试件在拉断后的延伸率 δ 和截面收缩率 ψ 来表示的：

$$\delta_n = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_1} \times 100\%$$

式中： l_0 ——试件原标距。

l_1 ——试件拉断后标距。

δ_n ——脚注 n 是长试件或短试件的标志。例十倍试件 $n = 10$ 即 δ_{10} 。对五倍试件 $n = 5$ 即 δ_5 。

F_0 ——试件原横截面积。

F_1 ——试件拉断时颈缩处最小横截面面积。

按国家标准规定，当断口不在标距长度的中央 $1/3$ 区段内时，则 l_1 需要采用断口移中的办法计算，在本试验中我们不要求。

五、试验步骤

1. 用卡尺在标距内的三个截面上量取直径，并且取最小值。
2. 根据低碳钢的强度极限，估计最大载荷，从而决定万能机测力盘的吨位范围。
3. 校正测力盘零点，调整好自动绘图仪。
4. 按装试件。
5. 开动机器，缓慢加载，注意观察屈服时刻度盘指针的回转，并记下最小屈服载荷 P_s 。过屈服后继续加载，直至试件断裂为止，由付针读出最大载荷 P_b 。

6. 量取试件拉断后标距长度 l_1 和最小截面尺寸 d_1 。

铸铁和低碳钢的拉伸步骤，大致相同。

六、思考题

1. 由拉伸破坏试件所确定的材料机械性能数值有何实用价值？
2. 为何在拉伸试验中必须采用标准试件或比例试件？材料和直径相同，而长短不同的试件延伸率是否相同？

3. 试分析比较低碳钢和铸铁拉伸 $\sigma - \varepsilon$ 曲线？它们各自有何特点？

4. 材料的屈服极限及强度极限是如何测定的？

5. 衡量材料塑性或脆性的主要指标是什么？它们是如何测定的？

(二) 压缩试验

一、试验目的

1. 观察並比较低碳钢和铸铁在压缩时的变形和破坏现象。

2. 确定低碳钢的屈服极限 σ_s 和铸铁的强度极限 σ_b 。

二、试验原理

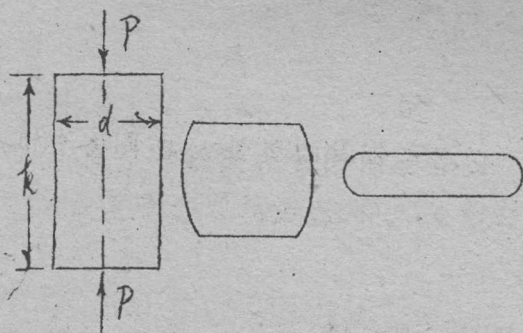
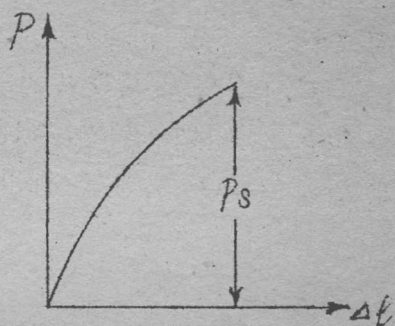
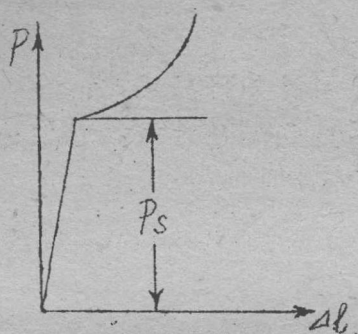
1. 低碳钢：一般取圆柱形试件，尺寸为 $1 < \frac{h}{d} < 3$ ，在屈服以前其应力—应变关系基本上与拉伸时相同，随后横截面逐渐增大，试件最后压成饼形而不破裂如图 2-1，故只能测出 P_s ，由 $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$ 得出材料受压时的屈服极限。而得不出受压时的强度极限。

2. 铸铁：铸铁压缩一般也取圆柱形试件，其尺寸与低碳钢一样，试件受压直至破坏（如图 2-2）。破坏断面与横截面夹角略大于 45° ，测出破坏时的载荷 P_b ，由 $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$ 得到铸铁的强度极限 σ_b 。

三、实验设备

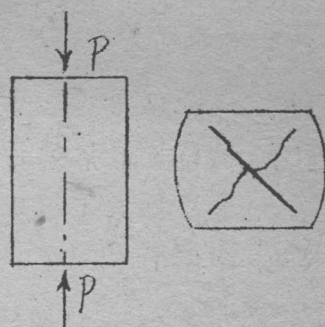
1. 万能试验机。

2. 游标卡尺。



低碳钢压缩

图 2-1



铸铁压缩

图 2-2

四、实验方法及步骤

1. 校正测力盘零点 (详见万能机说明, 附录 I), 调整好记录仪。
2. 用游标卡尺量取试件的横截面直径。
3. 将试件放在压板的中心。
4. 缓慢均匀加载荷, 注意低碳钢压缩时的屈服载荷, 并记下这一载荷 P_s , 过屈服后一直压到最大载荷。铸铁一直压到破坏为止记下破坏时的载荷 P_b 。

五、思考题

1. 低碳钢和铸铁压缩后为什么成腰鼓形?

2. 为什么说压缩试验是有条件性的？
3. 铸铁试件破坏时之断面往往与轴线约成 45° ，为什么？
4. 铸铁试件压缩破坏形状和拉伸时有何不同？这说明些什么？
5. 比较低碳钢和铸铁各自受拉压时的应力—应变曲线，它们有何特点？如何从经济观点利用这两种材料的特点。

(三) 拉伸时材料弹性常数 E 、 μ 的测定（电测方法）

一、试验目的：

在比例极限内验证虎克定律，并测定钢材的弹性模量 E 及泊松比 μ 。

二、试验设备：

万能试验机；

电阻应变仪和多点予调平衡箱（见附录）；

游标卡尺。

三、试验原理及装置：

测定钢材的弹性常数时，一般采用在比例极限内的拉伸试验。

采用矩形截面试件（按 GB228-76 规定选取），在试件中央部分两侧各贴二应变片（如图 3-1 所示），补偿片贴在不受力的与试件相同的材料上。一般取两侧读数的平均值作为测量结果。

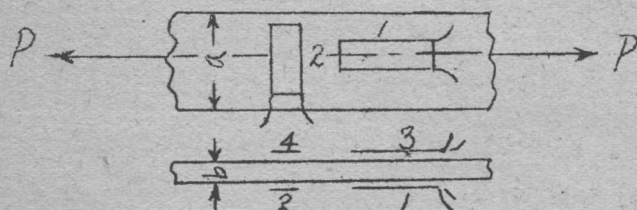


图 3-1 电阻片位置图

本试验采用增量法逐级加载，每增加相同的载荷 ΔP ，测量相应的应变增量 $\Delta \varepsilon$ ，观察载荷每增加 ΔP 时，其纵向应变增量 $\Delta \varepsilon$ 纵的变化规律以验证虎克定律，然后取纵向应变增量的平均值 $\overline{\Delta \varepsilon}_{\text{纵}}$ ，代入虎克定律即可计算出弹性模量 $E = \frac{\Delta P}{\overline{\Delta \varepsilon}_{\text{纵}} F_0}$ ，由纵向

应变增量及横向应变增量的平均值计算出泊松比 $\mu = \left| \frac{\overline{\Delta \varepsilon}_{\text{横}}}{\overline{\Delta \varepsilon}_{\text{纵}}} \right|$

其中 $F_0 = a \cdot b$

由于在比例极限内进行试验，故最终应力值不能超过比例极限，但也不宜低于它的一半。

四、试验步骤：

1. 测量试件尺寸。

2. 根据所加最大载荷，选用试验机适当的测力盘刻度和相应的摆锤重量。

3. 将工作应变片接在仪器的 A、B 接线柱上，而补偿片接在 B、C 接线柱上。然后按仪器使用方法将仪器调整好。

4. 先加初载荷，然后每增加相同载荷 ΔP ，记录相应的应变值。

五、思考题：

1. 虎克定律的使用范围是什么？为什么？

2. 略述弹性模量 E 和泊松比 μ 的物理意义。

3. 为什么测 E 时要加初载荷，并且采用增量法加载？

4. 为什么测 E 时，要在试件中央两侧布置贴片？

5. 试件的尺寸和形式对测定弹性模量有无影响？

(四) 扭转试验

一、试验目的：

圆轴扭转时，材料完全处于纯剪切应力状态。因此，常用扭转实验来研究不同材料的纯剪切作用下的机械性质。本次实验有以下几个目的。

1. 测定低碳钢的剪切屈服极限 τ_s 和强度极限 τ_b 。
2. 测定铸铁的剪切强度极限 τ 。
3. 观察低碳钢和铸铁的断口情况，并分析其原因。

二、试验设备：

K-50 型扭转机（见附录）

游标卡尺

三、试件：

圆形截面试件，其尺寸和形式视试验机而定。

四、试验原理：

1. 低碳钢圆截面试件扭转时，在弹性范围内， M_k 与 φ 为直线关系。（图 4-1），当扭矩超过比例极限时的扭矩 M_p 时，曲线变弯而逐渐趋于水平，到达屈服阶段时，扭角增加而扭矩不增加，此时的扭矩即为屈服扭矩 M_s 。因为屈服以后，圆截面内的剪应力不再按直线分布，根据塑性理论，可以求得材料的剪切屈服极限为

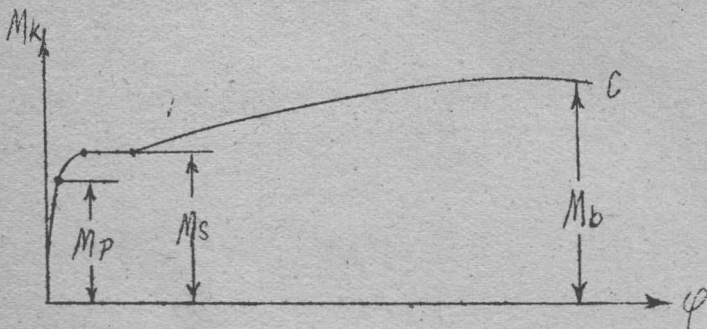


图 4-1

$$\tau_s = \frac{3}{4} \frac{M_s}{W_p} \dots\dots\dots (1)$$

式中: $W_p = \frac{\pi}{2} R^3$

此后, 扭转变形继续增加, 试件扭矩又继续上升, 直至C点试件被剪断, 记下破坏扭矩 M_b , 扭转剪切强度极限 τ_b 仍按(1)式计算。

2. 铸铁受扭时, $M_s - \varphi$ 曲线如图 4-2 所示, 从开始受扭, 直到破坏, 近似为一条直线, 故其强度极限 τ_b 可按弹性应力公式计算如下:

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_p} \dots\dots\dots (2)$$

式中: $W_p = \frac{\pi}{2} R^3$

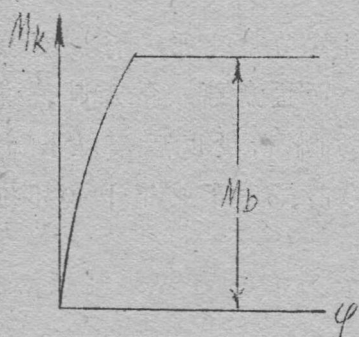


图 4-2

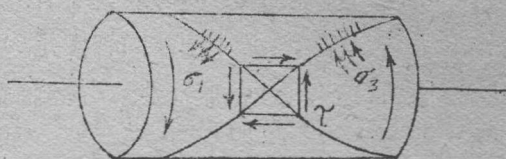


图 4-3

材料在纯剪切时, 横截面上受到剪应力作用, 而与杆轴成 45° 角螺旋面上, 分别受到拉应力 $\sigma_1 = |\tau|$ 和压应力 $\sigma_3 = |\tau|$ 的作用 (图 4-3)。

低碳钢的抗拉能力大于抗剪能力, 故试件沿横截面剪断 (图 4-4 a), 而铸铁抗拉能力小于抗剪能力, 故沿 45° 方向拉断 (图 4-4 b)。

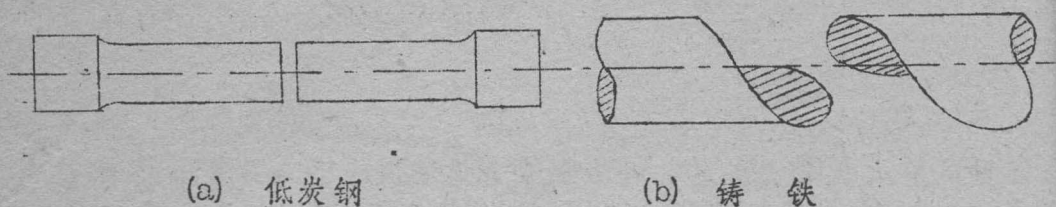


图 4 - 4

五、试验步骤:

1. 低碳钢:

①用游标卡尺测量试件直径。

②根据低碳钢的强度极限估计试件的最大扭矩，确定测力盘读数范围并调整摆锤重量及校正表盘零点，检查自动绘图仪是否正常。

③将试件装在扭转机二夹头内，并用粉笔在试件轴线方向画一条细线，以观察变形。

④检查准备妥当后，开始试验。

用慢速加载（或手摇加载使试件缓慢而均匀地变形。仔细观察测力指针的转动，当测力盘指针几乎不动，而扭角继续增加时，说明材料已屈服，记下此时的扭矩 M_s 。过了屈服阶段以后，取下加载摇手柄，开动电机加载，直到试件扭断为止。停车并记下破坏扭矩 M_b 。

2. 铸铁:

试验步骤与低碳钢试件相同。

六、注意事项:

1. 试件装入夹头必须夹紧，以免受扭时打滑。

2. 低碳钢试件由手摇加载改用电动机加载时，必须先拿下摇手柄，以免手柄被电动机带动伤人。

铸铁试件扭断变形较小，自始至终用手柄缓慢加载。

3. 低碳钢扭断时，无声无息，故必须注意，当测力盘指针回转时，表示试件已扭断，应立即关闭电动机。

(五) 梁弯曲正应力的电测试验

一、试验目的：

1. 测定梁纯弯曲时的正应力，沿高度分布规律，并与理论值比较。

2. 初步了解电测的基本原理和电阻应变仪的使用方法。

二、设备：

1. 万能试验机。

2. 电阻应变仪和多点预调平衡箱。

3. 游标卡尺。

三、电阻应变仪原理（见附录）。

四、弯曲电测实验装置及原理：

试验时将梁的支承及荷重情况布置如图 5-1 所示，使梁的中间 BC 段受纯弯曲作用，在梁的 BC 段内某截面不同高度（四等分点）处贴上五个电阻片，补偿电阻片粘贴在梁上不受力处，测量梁的纵向应变 ε 。

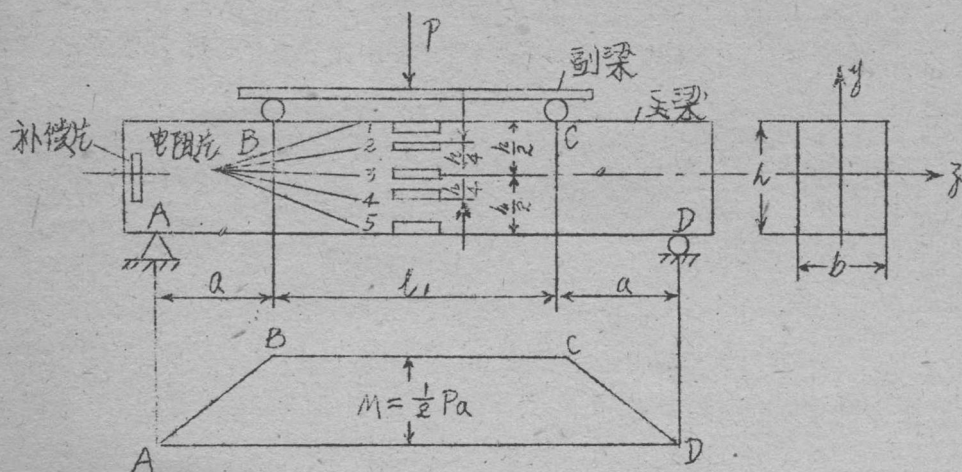


图 5-1

本实验采用“增量法”，每增加等量的载荷 ΔP ，测定各点相应的应变一次，取应变增量的平均值 $\Delta \varepsilon_{\text{实}}$ ，依次求出各点应力增量 $\Delta \sigma_{\text{实}}$

$$\Delta \sigma_{\text{实}} = E \cdot \Delta \varepsilon_{\text{实}}$$

把 $\Delta \sigma_{\text{实}}$ 与理论公式算出的应力增量

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta M Y}{J_z}$$

加以比较，从而验证公式的正确性。上述理论公式中 ΔM 按下式求出

$$\Delta M = \frac{1}{2} \Delta P \cdot a$$

五、实验步骤：

1. 根据所加最大载荷，选用适当的测力盘刻度和相应的摆锤。并调整测力指针，对准零点。