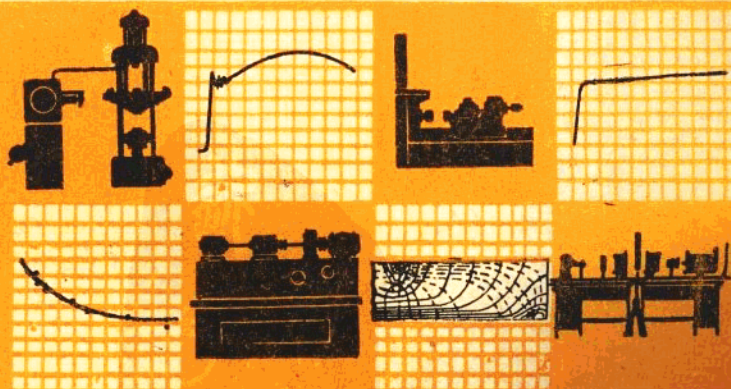


材料力学基本实验指导

0.40元

穆能伶 编



科学出版社

PDG

前 言

实验课是材料力学教学中的一个重要环节。材料力学中的一些重要公式、定律及材料的一些主要机械性质，是由实验来验证和测定的。为了使學生深刻理解课堂上所学的基本理论，了解一定的实验知识，接受一定的实验技术的训练，我们根据工科机械类材料力学教学的要求，编写了这本《材料力学基本实验指导》。

本书的内容分为两部分，第一部分介绍基本实验设备和仪器，第二部分是基本实验和实验报告。本书为了适应不同学制、不同专业材料力学教学的要求，在编写实验内容时，以基本实验为主，也选入部分带*号的选择实验。对于常用的设备、仪器，作了或详或简地介绍，一般都能满足这些实验的需要。为了让学生能够自己动手独立地完成每一个实验，书中对实验步骤作了较详细地叙述。在使学生熟悉实验方法的同时，还希望他们通过深入观察、认识实验现象并作出正确的判断，为此，编写时力求阐明每个实验的基本原理。学生参加每一次实验，都要对实验资料进行总结，凡是基本实验，其后都给出了较完整的、可供参考的实验报告格式。学生完成一次实验报告后，能使自己提高计算、分析问题以及对图表、曲线、文字表达的能力，逐渐培养起严格的科学作风。

本书由成都航空工业学校力学教研组穆能伶同志编写，在定稿过程中，力学教研组其他同志提供了一些修改意见。

本书编写时，曾参考有关资料及部分设备、仪器说明书。由于编者水平所限，书中尚有不足之处，请予批评、指正。

目 录

一、 基本实验设备和仪器

(一) 液压式万能材料试验机	1
1、WE—30型万能材料试验机	1
2、WE—10A型万能材料试验机	2
3、WE—10B型万能材料试验机	2
(二) 引伸仪	4
1、杠杆式引伸仪	4
2、表式引伸仪	5
3、球铰式引伸仪	6
4、镜式引伸仪	7
(三) 电阻应变仪	8
1、电阻应变片的工作原理	8
2、电阻应变仪的工作原理	9
3、电阻应变仪的使用方法	11
(四) 弹性引伸仪	14
(五) 扭转试验机	14
1、K—50型扭转试验机	14
2、NJ—100B型扭转试验机	15
(六) 镜式转角仪	17

二、 基本实验和实验报告

(一) 拉伸和压缩实验	19
1、拉伸时材料弹性常数的测定	19
实验报告	23

2、拉伸和压缩破坏实验.....	25
实验报告.....	28
(二) 扭转实验.....	30
实验报告.....	33
(三) 梁的弯曲实验.....	34
1、直梁弯曲正应力实验.....	34
实验报告.....	36
2、直梁弯曲变形实验.....	38
实验报告.....	40
(四) 焊接工字梁主应力的测定.....	42
实验报告.....	45
(五) 疲劳实验(演示).....	47
(六) 光测应力实验.....	49

附 录

(一) 近似计算.....	53
(二) 计算代数平均值的一种简便方法.....	55

一、基本实验设备和仪器

(一) 液压式万能材料试验机

液压式万能材料试验机被广泛地用来进行材料拉伸、压缩、弯曲等多种实验，其规格、型号繁多，但在结构上通常都由试件装夹、加力机构、测力机构、绘图装置和操纵系统这样几大部分组成。现就材料力学实验室中常用的几种试验机为例，对其构造原理和使用方法作一简单介绍。

1、WE—30型万能材料试验机（图1）

(1) 试件装夹部分：对于拉伸试件，应安装在上夹头6和下夹头9之间。上夹头6可随活动台5上下移动，下夹头9由电动机30驱动，其高低位置可通过升降开关29调整，以便于装夹不同长度的试件。但应注意试件夹紧或受力后，就不得再调整下夹头9的位置，以免损伤试件。

对于压缩试件，则放在活动台5中央的球面支座8上，球面支座8能略倾斜，以保证试件在受压时其底面可以和支座8完全接触。

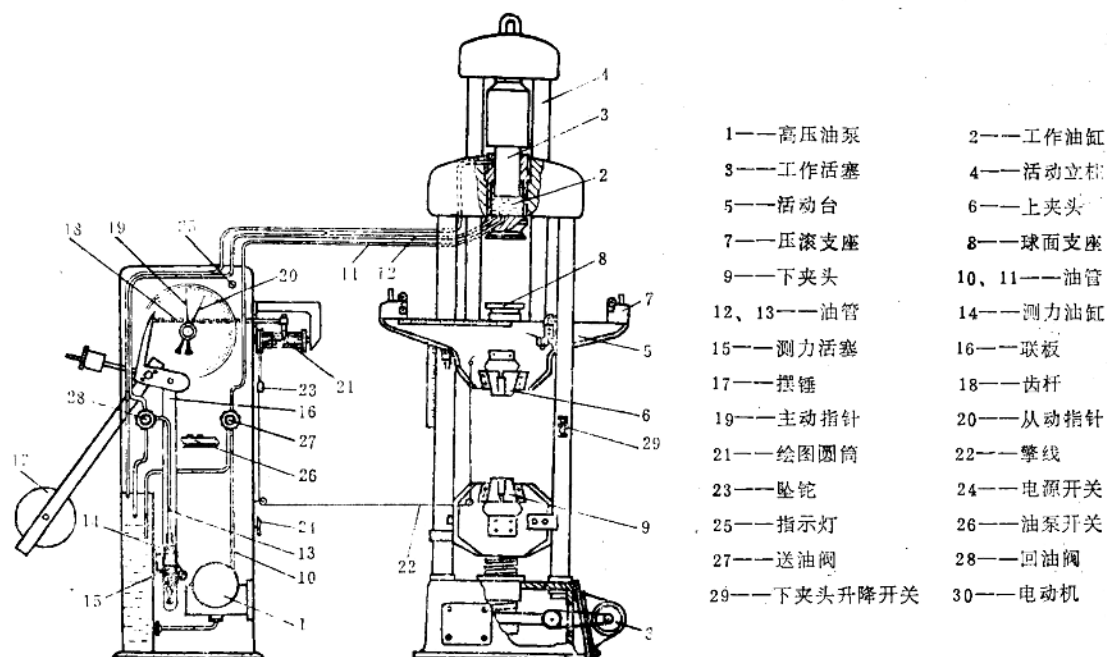


图1 WE—30型万能材料试验机

弯曲试件应放在被螺钉紧固于活动台5上的两个压滚支座7上，两支座间距离可以根据试件长短进行调节。接触试件加力的上压头（图中未画）由螺钉固定在油缸2的底部。

（2）加力机构：高压油泵1使油通过油管10、11压入工作油缸2，工作活塞3被推动，于是，与活塞3联结在一起的活动立柱4随即带动活动台5上升（下夹头固定不动），此时，试件便可以承受拉力或压力而产生拉伸或压缩、弯曲等变形。

（3）测力机构：给试件加力的同时，压入工作油缸2的油还要经过油管12、13进入测力油缸14，推动测力活塞15向下移动，再带动联板16向下移动，然后借助杠杆传递而使摆锤17偏转，齿杆18右移，主动指针19以及从动指针20旋转。由于工作油缸2和测力油缸14中油的压强相等，工作活塞3和测力活塞15的横截面积具有固定的比值，因此加在试件上的力就和使摆锤17偏转的力成比例，或者说加在试件上的力和指针偏转角度成比例，于是，示力盘上按比例刻划的刻度值就可以表示加在试件上力的大小。若选用不同重量的摆锤，则在指针偏转相同的角度下，相应地也就有不同的油压，试件也就受到不同的力，这样，指针在同一位置时所指示的力就有几种不同的数值。一般试验机都配有三种重量的摆锤，同时示力盘上有三种不同的量程。

（4）绘图装置：用于绘制试件受力大小和变形的关系曲线。曲线是由随齿杆移动的记录笔在转动着的圆筒21的记录纸上绘制而成的。圆筒21的转动，由联结于活动台5和坠砣23之间的擎线22带动实现。

（5）操纵系统和使用方法：操纵系统主要包括电器电路和液压传动两部分。

试验机在加载之前，首先要选择适当的量程而配挂相应的摆锤，试验所加载荷的最大值，一般不允许超出所选示力盘量程的90%，然后，扭动电源开关24接通电源，此时，指示灯25亮，表明电路接通。

电路接通后，按动工作台上油泵开关26的“起动”按钮，开动油泵（在此之前注意关紧回油阀28），待油泵运转几分钟保持正常后，缓慢地打开送油阀27，等试验台升起1厘米左右时，使进油量减到最少，调整测力指针到“零”点，关闭油泵。

装夹试件，再开动油泵1，缓慢地打开送油阀27，对试件加载，加载的速度，可通过送油阀27打开的程度并按实验要求来控制。

试验结束后，关闭送油阀27（注意不要拧得太紧），停车取下试件，缓慢地打开回油阀28，使活动台5慢慢下降至原来的位置再关闭回油阀28，最后切断电源，清理机器。

该试验机共有三种量程：0~6000kg、0~15000kg、0~30000kg。

2、WE—10A型万能材料试验机

该试验机的三种量程是：0~2000kg、0~5000kg、0~10000kg。其规格比WE—30型试验机小，但构造原理和使用方法，除下夹头高低位置是靠摇动手轮的方式调整外，其余都与WE—30型试验机相同。

3、WE—10B型万能材料试验机（图2）

量程和WE—10A型试验机相同，工作原理和WE—30型试验机基本一致，但其结构及

使用方法有一些区别，现简介如下：

该机上、下夹头分别装在上横梁10和下横梁22中央的楔形方孔内。上横梁10通过前后两光杆9与试验台8固结在一起，下横梁22通过传动螺母支持在前后两丝杠21上，当丝杠21沿不同方向转动时，就使下横梁22上升或下降。

高压油泵1使油经油管2、控制阀5、油管3压入工作油缸6，然后推动工作活塞7使上横梁10上升，于是便实现对试件加载。

油压作用于测力活塞13时，联板14向下移动，摆锤15和推板16偏转，此时线轮架17在推板16的推动下沿滑轨23移动，主动指针18旋转，于是便指示出给试件所加力的大小。线轮架17上装有记录笔，试验台8上升时使齿杆11也上升，然后经齿轮传动而使绘图圆筒20旋转，试件所加的力和变形的关系曲线即被描绘下来。

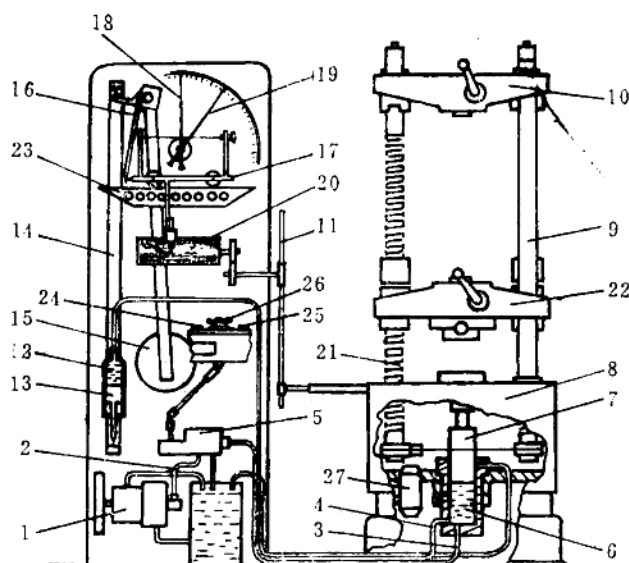


图2 WE—10B型万能材料试验机

- | | | | | |
|----------|-----------|-------------|------------|----------|
| 1——高压油泵 | 2、3、4——油管 | 5——控制阀 | 6——工作油缸 | 7——工作活塞 |
| 8——试验台 | 9——光杆 | 10——上横梁 | 11——齿杆 | 12——测力油缸 |
| 13——测力活塞 | 14——联板 | 15——摆锤 | 16——推板 | 17——线轮架 |
| 18——主动指针 | 19——从动指针 | 20——绘图圆筒 | 21——丝杆 | 22——下横梁 |
| 23——滑轨 | 24——油泵开关 | 25——下横梁升降开关 | 26——载荷控制旋钮 | 27——电动机 |

工作台上装有电源开关、指示灯、油泵开停按钮24、下横梁升降开关25及载荷控制旋钮26。载荷控制旋钮26对油路和油量的控制，是借助于两个万向接头与控制阀5中的滑阀相联接来实现的。载荷控制旋钮26所在位置的周向上标有“加荷”、“0”、“卸荷”字样。加载时，在“加荷”位置上按顺时针转动旋钮，旋转角度越大，加载速度越快。当载荷加至一定程度时，若要保持此时载荷的数值，可将旋钮旋至“0”位置上。如果载荷有少许损失，那么，只要将旋钮向加荷方向稍稍旋过一些，即可以使载荷得到补充。卸载时，将旋钮旋至

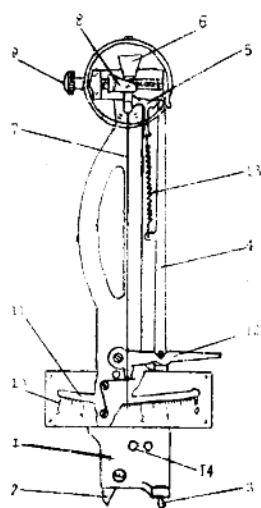
“卸荷”位置上，沿反时针方向旋转的角度越大，卸载速度就越快。

(二) 引伸仪

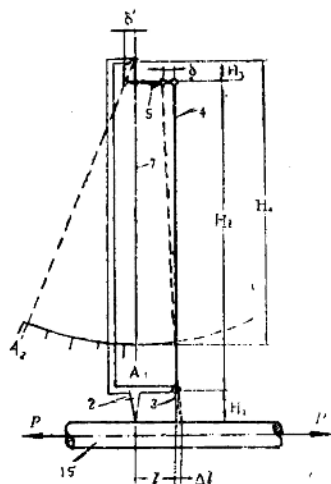
引伸仪（或称变形仪）是一种用于测定试件、零件、构件、模型以及结构物在载荷作用下引起表面线变形的仪表。引伸仪按工作原理分类，有机械式的、光学式的等等。这些仪表，一般都由三个基本部分组成，即感受变形机构、放大变形机构、以及指示或记录变形机构。现列举几种常用的引伸仪介绍如下：

1、杠杆式引伸仪（图3）

工作原理如图3b所示，引伸仪的两个刀口2、3被夹具压紧在试件15上，刀口2固定不动，刀口3是活动的。当试件15受到拉力变形伸长时，两刀口2、3间的距离 l （这种直接在试件上感受到的长度 l 又称引伸仪的标距）产生增量 Δl ，亦即刀口3绕上支点（V形槽）转动而产生



(a) 构造



(b) 工作原理

图3 杠杆式引伸仪

- | | | | | |
|---------|---------|-------------|-----------|--------|
| 1——主架 | 2——固定刀口 | 3——活动刀口 | 4——杠杆 | 5——T形钩 |
| 6——指针座 | 7——指针 | 8——轴承架 | 9——调节螺丝 | 10——标尺 |
| 11——反光镜 | 12——锁杆 | 13——T形钩拉力弹簧 | 14——夹具安装孔 | 15——试件 |

生位移 Δl ，在此同时，和刀口3为一整体的杠杆4也绕支点转动，并通过T形钩5传递给指针7，于是针尖由 A_1 摆至 A_2 ，整个杠杆放大机构变成图3b中虚线所示的位置，可以看出，这时标尺10给出的读数为 $\Delta A = A_2 - A_1$ ，根据杠杆原理，由杠杆4得：

$$\frac{\Delta l}{\delta} = \frac{H_1}{H_2}$$

由指针7得：

$$\frac{A_2 - A_1}{\delta'} = \frac{H_1}{H_3}$$

而 $\delta = \delta'$ ，故试件在标距 l 内的线变形为：

$$\Delta l = \frac{H_1 H_3}{H_2 H_4} \Delta A = K \Delta A$$

式中 $K = H_1 H_3 / H_2 H_4$ 称为刻度分度值。K 值的大小，表征了引伸仪感受试件变形并使之放大的能力，因此有时又称 $m = 1/K$ 为引伸仪的放大倍数。如 65—0206 型杠杆引伸仪的刻度分度值为 $K = 0.001 \text{ mm/分格}$ ，其放大倍数就是 $m = 1000$ 。通常 K 的数值在引伸仪的使用说明书上均有介绍。

刀口 2、3 之间的距离，有时又称之为主测量标距，即 $l = 20 \text{ mm}$ 。如果通过引伸仪的安装孔 14 装上长标距附件，则可以使标距加长，用这些附件，一般可获得在 $20 \sim 1000 \text{ mm}$ 范围内变动的各种不同的标距长度。

这种引伸仪宜于测量矩形截面试件的变形，若要消除试件受力偏心的影响，则须在试件左、右两侧各安装一个引伸仪，所测试件的线变形应取两引伸仪读数的平均值即得。

2、表式引伸仪(图4)

是由两个千分表(或百分表)和一个变形传递架所组成的引伸仪，用此种引伸仪可同时测量试件左、右两侧的线变形。

使用表式引伸仪时，首先是固定在试件上的下刀口 1 随试件 15 的变形而移动，亦即杠杆 3 绕支点 4 转动，接着，一端带有平齿的顶杆 6 在杠杆触头 5 的作用下沿其轴向移动，从而推动两同轴齿轮 7、8 以及大指针齿轮 9、量程指针齿轮 10 旋转，经过这一系列的放大作用后，下刀口 1 的位移便由表盘上的大指针及量程指针指示出来。由于杠杆支点 4 到刀口 1 和触头 5 的距离相等，因此引伸仪的放大倍数是由千分表(或百分表)各齿轮之间的传动比决定的，即 $m = 1000$ (或 100)。

试件变形测完后，应先取下夹紧器 13，然后按动按键 14，使上、下刀口离开试件再卸去引伸仪。

- | | |
|----------|---------------|
| 1——下刀口 | 2——上刀口 |
| 3——杠杆 | 4——支点 |
| 5——杠杆触头 | 6——顶杆 |
| 7——大齿轮 | 8——小齿轮 |
| 9——大指针齿轮 | 10——量程指针齿轮 |
| 11——弹簧 | 12——标尺杆 |
| 13——夹紧器 | 14——按键 |
| 15——试件 | 16——百分表(或千分表) |

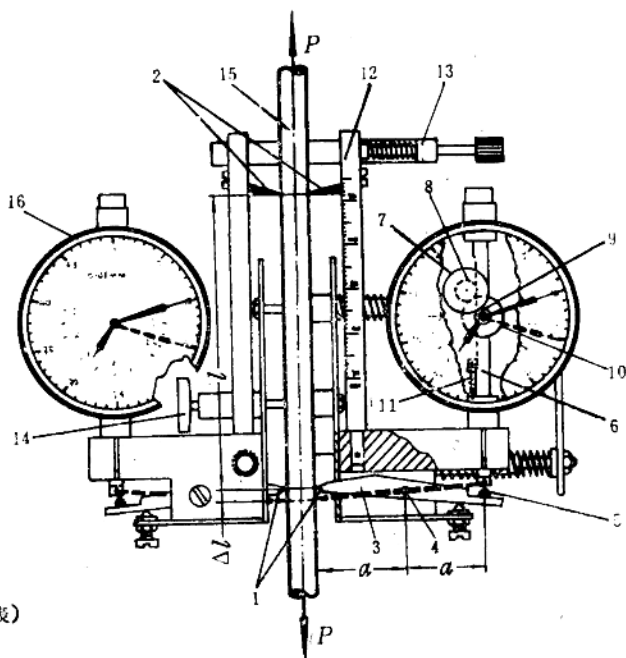


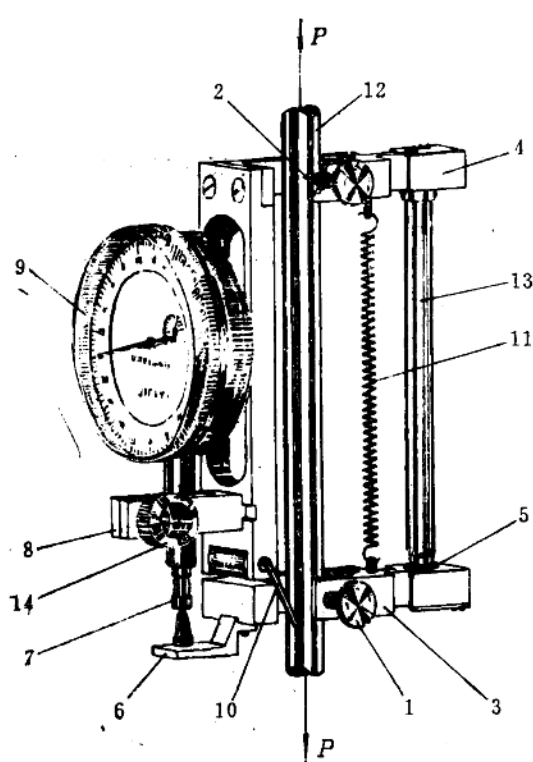
图4 表式引伸仪

上刀口2是用螺钉固定在标尺杆12上的,故松开螺钉便可调整标距的长度。若标距长度超过标尺杆刻度值的最大范围,则可更换更长的标尺杆,可见,表式引伸仪的量程较大,因此宜于测定材料流动时的变形。

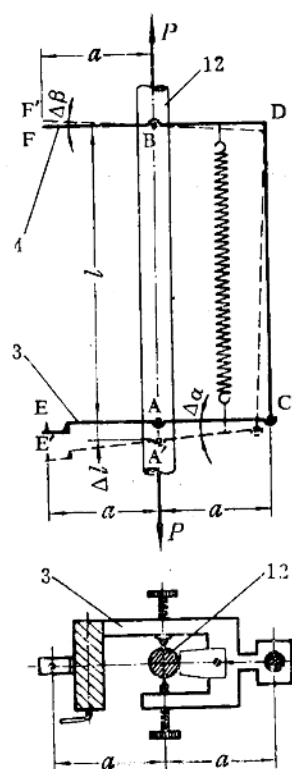
3、球 铰 式 引 伸 仪 (图 5 a)

这种引伸仪是一种较新式的表式引伸仪,由于它在结构上采用了由一个球铰、两个标距叉和四个顶尖所组成的变形传递系统,因此仅用一支千分表(或百分表)即可得到试件左、右两侧变形读数的平均值。

球铰式引伸仪是靠四个顶尖夹紧在试件上的。安装引伸仪时,使试件从上标距叉4和下标距叉3的右侧缺口进入仪器中央,然后拧紧顶尖螺丝1、2即可。其工作原理(图5b)是:当试件受力伸长 Δl 时,下顶尖1由原来所在的A点移到A'点,也即 $\Delta l = AA'$ 。在下顶尖1移动的同时,下标距叉3绕球铰5(C点)转动 $\Delta\alpha$,上标距叉4绕顶尖2(B点)转动 $\Delta\beta$,于是测头座6的触点E下降到E',千分表(或百分表)的位置随上标距叉4由F上升到F',这



(a) 构造



(b) 工作原理

图 5 球铰式引伸仪

- | | | | | |
|----------|----------|---------|--------------|--------|
| 1——下顶尖螺丝 | 2——上顶尖螺丝 | 3——下标距叉 | 4——上标距叉 | 5——球铰 |
| 6——测头座 | 7——平面测头 | 8——表夹 | 9——千分表(或百分表) | 10——小轴 |
| 11——定位弹簧 | 12——试件 | 13——球铰杆 | 14——装表螺钉 | |

时引伸仪实际所测位移 $\Delta E F$ 应是 E、F 两点位移之和，即：

$$\Delta E F = E E' + F F' = \Delta l + a \Delta \alpha + a \Delta \beta$$

由于试件的伸长不大，可以认为上标距叉4的转动角度 $\Delta \beta \approx 0$ ，且 $A E = B F = A C = a$ ，故：

$$\Delta E F = \Delta l + a \Delta \alpha = 2 \Delta l$$

可见球铰式引伸仪的变形传递机构将试件的变形扩大，2倍考虑到千分表（或百分表）的放大倍数，球铰式引伸仪的放大倍数即为 $m = 2000$ （或200），相应的刻度分度值为 $K = 0.0005 \text{ mm/分格}$ （或 0.005 mm/分格 ）。

调节引伸仪的四个顶尖螺丝的左、右位置，可保证试件中心线位于上、下标距叉的对称中心平面上，而下标距叉因能绕球铰左、右转动，所以千分表（或百分表）的读数指针总是自动地指在试件左、右两侧变形的平均值上。

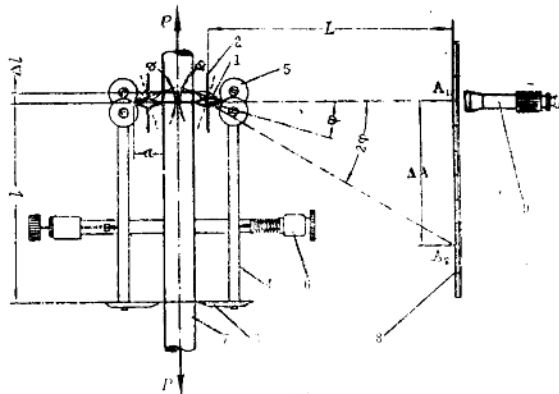
球铰式引伸仪的标距由上、下顶尖距离确定，通常是 $l = 50 \text{ mm}$ 或 $l = 100 \text{ mm}$ 。

4、镜式引伸仪

镜式引伸仪是一种应用光学原理测量变形的仪器，准确度较高，在实验室中常用来测定杆件的微小变形。

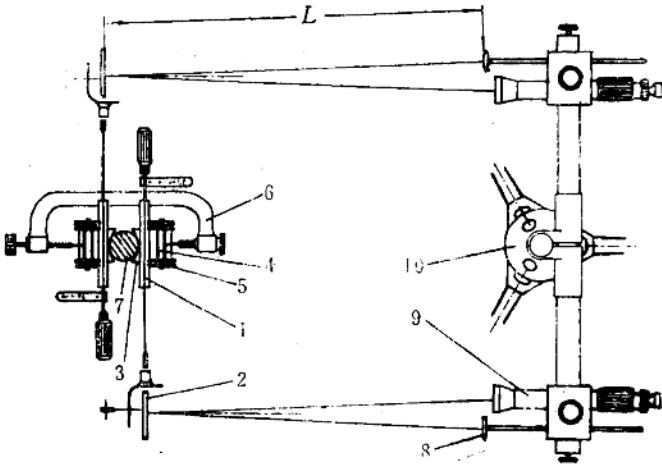
如图6b所示，镜式引伸仪（415型）的结构可分为两部分：感受变形机构——固定在试件7上；读数机构——固定在三角架10上。

镜式引伸仪的工作原理是（图6a）：当试件7产生拉伸变形时，菱形活动刀刃1（被螺旋夹具6和带有导轮5、固定刀口3的标距柱4压紧在试件7上）将绕



(a) 工作原理

- 1——菱形活动刀刃
- 2——反光镜片
- 3——固定刀口
- 4——标距柱
- 5——导轮
- 6——螺旋夹具
- 7——试件
- 8——标尺
- 9——望远镜
- 10——三角架



(b) 结构

图 6 镜式引伸仪

导轮5的交点联线旋转一个角度 φ 。已知菱形活动刀刃长对角线的宽度为 a ，则试件（标距为 l ）的伸长：

$$\Delta l = a \sin \varphi$$

由于反光镜片2和菱形活动刀刃1同在一根轴上，因此反光镜片2的法线将同样旋转一个角度 φ ，这时，望远镜9通过镜片2反射所看到标尺8的刻度就从原来的 A_1 变到 A_2 。根据光学反射定律可知，入射角等于反射角，且入射线、反射线与法线共面，故 A_1 、 A_2 两射线间的夹角为 2φ ，若测得件2的镜面与标尺8的距离为 L ，则标尺读数改变值 ΔA 由几何关系得：

$$\Delta A = A_2 - A_1 = L \operatorname{tg} 2\varphi$$

通常 φ 很小，所以 $\operatorname{tg} 2\varphi \approx 2\varphi$ ， $\sin \varphi \approx \varphi$ ，代入前两式并消去 φ ，得：

$$\Delta l = \frac{\Delta A a}{2 L} = \frac{\Delta A}{m}$$

式中， $m = 2L/a$ 为镜式引伸仪的放大倍数。实用时为了便于计算，一般取 $m = 500$ ，即是说 a 和 L 有确定的值。例如菱形刀刃长对角线的宽度 $a = 4.03\text{mm}$ （每个菱形刀刃的轴上都注明其 a 值的大小），对应的镜面与标尺的距离即为 $L = 1007.5\text{mm}$ 。

镜式引伸仪还附有多种不同长度的标距柱，如50、100、150、200mm等。

（三）电阻应变仪

实验应力分析中最常用的方法是电测法。所谓电测法，也就是把非电量变化（如应变、位移、压力、加速度等）转换成电量变化（如电阻、电感、电容等）来进行测量的一种方法。电测法中应用最广泛的是电阻应变测量技术。电阻应变的测量，一般能测量几十到数千 $\mu\epsilon$ ，既可以测量构件在静载荷作用下的表面应变，也可以测量构件在动载荷作用下的表面应变，而且精确度高，稳定性好，还可不受构件工作环境改变（如非常温、高液压、强磁场等）和距离远近的限制，如果再运用各种不同的传感器，还能测量力、压力、位移、加速度等多种物理量。因此，电阻应变测量的方法在工程技术和科学研究中被广泛地采用。

电阻应变测量所用的转换器是电阻应变片，所用的测量设备是电阻应变仪，其基本过程是：将电阻应变片固定在被测构件上，构件的变形使应变片电阻值发生相应的变化，这种电阻值的变化再由电阻应变仪中的电桥转化为电压或电流的增量，续经放大器放大，并换算成应变数值，由检测仪表直接显示出来，最后便得到构件所贴应变片部位变形的大小。

电阻应变片和电阻应变仪的工作原理分述如下：

1、电阻应变片的工作原理

常用的电阻应变片，是用电阻率较大、直径为 $0.015 \sim 0.05\text{mm}$ 的金属丝绕成栅状，粘贴在两层绝缘、半透明的薄纸片或塑料薄片上，两端焊上直径为 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 的铜线制成的，其结构如图7所示。应变片的标距（即栅长） l 有0.2、2.5、15、……100mm等多种长度。应变片的电阻值（公称电阻） R 多采用 120Ω ，也有60、350、……600 Ω 。

用电阻应变片测量应变时，必须将其很牢固地贴在构件上。由于构件受载而产生变形，必然使应变片中金属丝也随之发生相同的变形，（伸长或缩短），其电阻值就会发生相应的改变（增大或减小），这种电阻值随其变形而发生变化的现象，就称之为金属丝的应变—电阻效应。从实验得知，在一定的范围内，电阻的相对变化量 $\Delta R/R$ 与应变 $\Delta l/l$ 成正比，即：

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} = K\varepsilon \quad (3-1)$$

式中的比例常数 K 称为电阻应变片的灵敏系数，它和金属丝的材料、绕制形式及所用的粘结剂等因素有关，其值由实验标定给出，一般在2.0左右。

由上可见，只要测得应变片的电阻变化值 ΔR ，即可根据关系式（3—1）计算出构件所贴应变片处的应变 ε 。但是，应变片由于变形引起的电阻变化量 $\Delta R/R$ 是非常微小的，而且实际构件往往只需要测量几十 $\mu\varepsilon$ ，甚至几 $\mu\varepsilon$ 的变形。对于这样小的电阻变化量，要直接测量出来是十分困难的，为此，就需要一种由电桥和放大器所组成的仪器——电阻应变仪来进行测量。

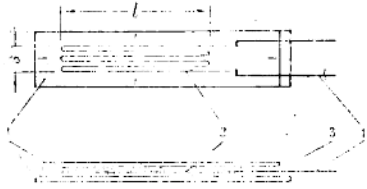
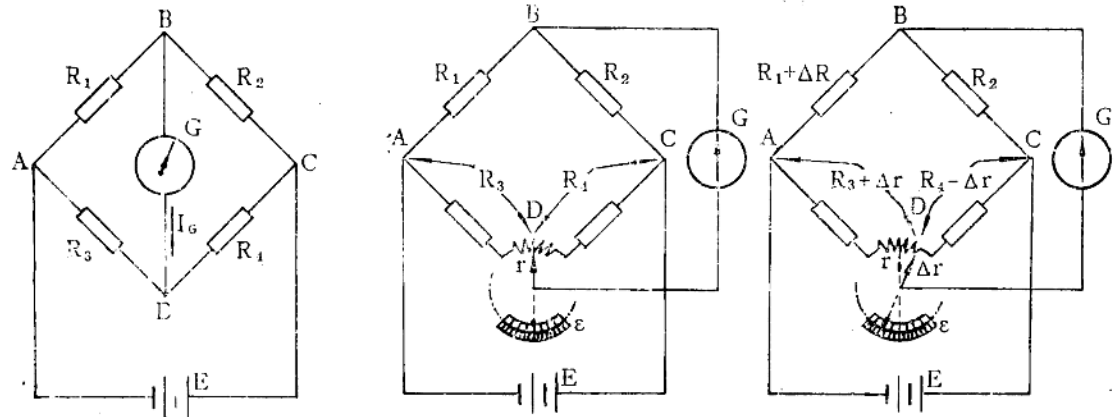


图7 电阻应变片的构造

- 1——薄纸片
- 2——丝栅
- 3——粘合剂
- 4——引出导线

2、电阻应变仪的工作原理

电阻应变仪中的电桥，通常称四臂电桥或惠斯登电桥，它以电阻应变片或电阻元件作为桥臂，如图8所示。设各个桥臂的电阻为 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 ，对角顶点 A 、 C 为电源端，



(a) 直接读数法

(b) 零位读数法

图8 电桥测量原理

直流电压为 E ，对角顶点 B 、 D 为输出端，接检流计 G 。当电桥平衡时，检流计中无电流通

过, $I_G = 0$, 根据电路计算, 电桥的平衡条件为:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

若某一桥臂电阻发生变化 (图8a), 则电桥失去平衡, 检流计中有电流通过, 电流便直接由指针偏转指示出来或由其它装置记录下来, 这种方法称直接读数法 (如进行动荷测量时)。还有一种方法称为零位读数法 (如进行静荷测量时), 亦即在电阻 R_3 、 R_4 之间包含一滑线电阻 r (图8b), 这时若桥臂电阻 R_1 改变 ΔR 而使电桥失去平衡时, 则可调节滑线电阻 (设电阻值改变 Δr) 使指针回到零位, 亦即 $I_G = 0$, 电桥重新获得平衡, 其平衡条件就是:

$$\frac{R_1 + \Delta R}{R_2} = \frac{R_3 + \Delta r}{R_4 - \Delta r}$$

移项整理, 得:

$$R_1 R_4 - R_1 \Delta r + R_4 \Delta R - \Delta R \Delta r = R_2 R_3 + R_2 \Delta r$$

设 $R_1 = R_2 = R$, $R_3 = R_4 = r$, 略去二阶微量 $\Delta R \Delta r$, 即得:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{2 \Delta r}{r} \quad (3-2)$$

可见, 只要测出滑线电阻的阻值改变量 Δr , 即可得到桥臂电阻 R_1 的改变量 ΔR 。然而, 在实际测量中, 电桥的四个桥臂是部分或全部贴在构件上的电阻应变片。设 R_1 为贴在构件上的应变片 (工作应变片), R_2 为贴在与构件同材料、同温度且不受力的物体上的应变片 (温度补偿片), R_3 和 R_4 为精密电阻, 接在仪器内部, 就组成了一种测量电桥电路。根据电阻应变片的转换原理, 或者将式 (3-2) 代入式 (3-1), 便可得到:

$$\varepsilon = \frac{2}{K r} \Delta r \quad (3-3)$$

显然, 从上式可以看出, 滑线电阻的阻值改变量 Δr 一经测出, 就可算出构件所贴应变片处的应变 ε 。为了方便起见, 滑线电阻所指示的电阻改变值由应变刻度来代替, 亦即应变刻度是由电阻值 Δr 乘以常数 $2/Kr$ 换算得来的。这样, 构件变形前后, 两次调节电桥平衡所直接读出的应变值之差, 便是构件变形产生应变的大小。

以上的讨论虽是针对直流电源的电桥 (直流电桥), 但其结论对电源是交流电压的电桥 (交流电桥) 也同样适用。不过, 交流电桥的平衡, 除应满足电阻平衡条件外, 还需满足电容平衡条件。以往由于直流放大器存在着零点漂移, 影响测量结果, 因而现在很多应变仪采用交流电压作为电桥电压, 为此, 这些应变仪均设有电阻平衡和电容平衡装置, 以使电桥在测量应变前处于平衡状态。另外, 为了避免供桥电压波动的影响, 以提高测量精度, 故采用了双电桥线路 (测静态应变时), 亦即除上述那种测量电桥之外, 还设有一个专供读数用的电桥, 称读数电桥, 该电桥的四臂均为高精度电阻, 电桥上的滑线电阻通过刻有应变值的旋钮来调节, 以使双电桥平衡, 指针回零位, 直接得到应变的读数。

事实上，应变仪测量电桥所输出的电压信号十分微弱（通常测量中仅是 μV 级的量），无法推动后续的指示仪表，因此，电桥输出的信号需经载波放大器放大到足够大的程度。此时，为了使信号的极性即应变的正、负（拉伸或压缩）反映出来，应变仪中又设置了相敏检波器。相敏检波器的控制电压以及电桥的桥源电压，是由振荡器供给的。检波后的信号，在波形上仍留高频载波成分，为了阻止它到负载上去（对动态测量而言），需由滤波器将其去掉，最后信号被送进指示仪表或记录装置（图9）。由于交流电桥式应变仪具有这样的组成部分，因此其灵敏度、精确度、线性度等基本性能都可以满足电阻应变片使用的要求。目前，这种电桥被广泛地应用在电测应力分析之中。

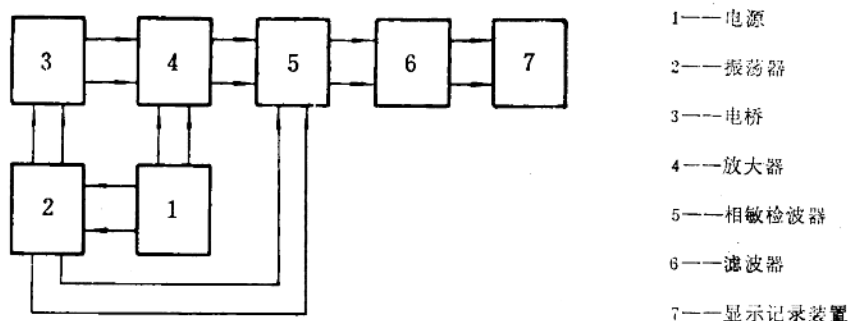


图9 电阻应变仪的组成部分

电阻应变仪的型号很多，比较常用的如静态电阻应变仪YJ—5型、YJB—1型、静动态电阻应变仪YJD—1型，动态电阻应变仪Y6D—2型，Y6D—3A型等。

3、电阻应变仪的使用方法

今介绍两种电阻应变仪的使用方法。

YJ—5型静态电阻应变仪（图10）：

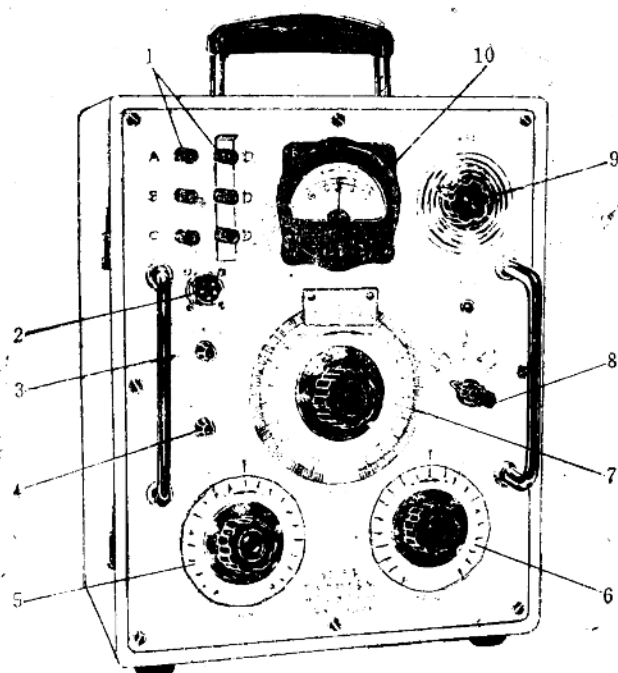
这种应变仪用于测量静载荷下的应变，其量程为 $0 \sim \pm 11100 \mu\epsilon$ ，分辨率（即最小刻度值）为 $1 \mu\epsilon$ ，既能进行单点应变测量，也可与P20R—5型预调平衡箱配套使用进行多点应变测量，在使用应变仪时，为了保证一定的测量精确度，应先对应变仪进行校验，具体作法是：

（1）将微调、中调、大调三调节旋钮旋至零位，校准检流计机械零点。

（2）把 120Ω 校验电阻分别接到A、B、C接线柱上，三点连接片接在 D_1 、D、 D_2 接线柱上拧紧。用三蕊电源线将仪器接入220V电源。

（3）将电源开关拨到“BD”字位（此时测量桥短路，读数桥接入放大器），仪器预热一分钟后，转动微调旋钮，若检流计指针偏转，表明仪器正常。

（4）将电源开关拨到“阻”字位，用小螺丝刀调整电阻平衡电位器使检流计指针到零位，然后将开关拨到“容”字位，调整电容平衡电位器使指针接近零位，再将开关拨回“阻”字位使指针到零位，如此反复几次直到开关在“阻”或“容”字位电流表指针均指零位为止，此时表明测量桥已预调平衡。最后，把开关拨在“阻”字位，使微调旋钮偏转 $10 \mu\epsilon$ ，检



- 1——接线柱
- 2——电源插座
- 3——电阻平衡电位器
- 4——电容平衡电位器
- 5——粗调旋钮
- 6——中调旋钮
- 7——微调旋钮
- 8——工作选择开关
- 9——灵敏系数调节旋钮
- 10——检流计

图10 YJ-5型静态电阻应变仪

流计即指示出 $10\mu\epsilon$ ，灵敏度符合要求，应变仪校验完毕。

随后，可将开关拨到“BD”字位，取下校验电阻，即可接入电阻应变片，具体作法是：

(5) 用于单点应变测量时，其半桥接法是将工作应变片接于A、B接线柱，温度补偿片接于B、C接线柱，三点连接片接于 D_1 、D、 D_2 接线柱；采用全桥接法则将三点连接片拆除，而把四个应变片接于O、B、C、D接线柱。

(6) 用于多点测量时，各应变片分别接于各点对应的A、B、C、D接线柱。半桥接法若多点共用一温度补偿片，则五点连接片应接于C接线柱。即可开始对电桥作预调平衡继而进行测量：

(7) 旋转灵敏系数调节旋钮，使之指在与应变片K值相符的位置上。

(8) 进行单点测量时，半桥接法的预调平衡同步骤4；全桥接法的预调平衡只调整电容平衡电位器，不调整电阻平衡电位器，而电阻平衡可通过调节读数电桥（用初读数）来使检流计指针到零位，这样做可保证测量精度。

(9) 进行多点测量时，应先将选点开关旋在需要测量点的编号位置上，然后调整平衡箱上与该测点对应的电阻平衡电位器以及应变仪上的电容平衡电位器，直到检流计指针指在零位为止。

(10) 应变仪电桥预调平衡后，把电源开关拨在“阻”字位，仔细观察三分钟，检流计指针不应有漂移现象。

(11) 加载，检流计指针偏转，沿其偏转反方向旋转与应变变量相适应的调节旋钮，使指

针回到零位，立即读数。最后所测得的应变值，应是各个调节旋钮指示读数的代数和减去加载前的初读数，若读数为“+”，表示拉应变，读数为“-”，表示压应变。

(12) 测量过程中，若更换测点或暂时不测，应将电源开关拨到“BD”字位。

YJD-1型电阻应变仪(图11)：

可用于测量静载荷下的单点或多点应变，也可用于测量动载荷下的单点应变。

用于静态应变的测量方法是：

(1) 把应变片接入应变仪或预调平衡箱(P20R-1型)，半桥接法是将工作应变片和温度补偿片分别接于A、B接线柱和B、C接线柱，三点连接片接于A'、D、C'接线柱；全桥接法是：将三点连接片拆除，而将四个应变片接于A、B、C、D接线柱。

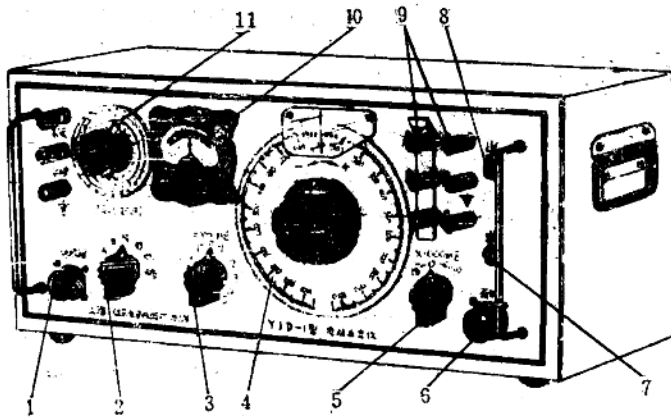


图11 YJD-1型静动态电阻应变仪

- | | | | |
|---------|-----------|--------------|------------|
| 1——电源插座 | 2——工作选择开关 | 3——中调旋钮 | 4——微调旋钮 |
| 5——粗调旋钮 | 6——平衡箱插座 | 7——电容平衡电位器 | 8——电阻平衡电位器 |
| 9——接线柱 | 10——检流计 | 11——灵敏系数调节旋钮 | |

(2) 旋转灵敏系数调节旋钮，使之指在与应变片K值相符的位置上。

(3) 校准检流计机械零点，检查微调、中调、粗调三调节旋钮是否指在零位。

(4) 将工作选择开关旋到“静”字位，检流计指针向一侧偏转，用小螺丝刀调整应变仪右方之电阻平衡电位器，使检流计指针指到零位。然后，再将开关旋到“预”字位，调整电容平衡电位器使指针回到零位，这样反复调整几次后，指针不再偏转，表明应变仪已预调平衡，以后在测量过程中只调电阻平衡电位器不必再动电容平衡电位器。多点测量时的预调平衡，要分别调整各点的电阻平衡与电容平衡电位器。若应变片电阻值相差太大而不能预调平衡时，可将中调旋钮旋转到相应的档数，记下应变初始值，然后再调整电阻平衡电位器使检流计指针到零位。

(5) 应变仪电桥预调平衡后，把选择开关旋到“静”字位，仔细观察三分钟，检流计指针不应有漂移现象。

(6) 加载，检流计指针偏转，沿其偏转反方向旋转与应变变量相适应的调节旋钮，使指