

吳鏗卿編著

槓杆式伸引儀

中國工業出版社

本書介紹材料性質測定及結構試驗中常用的杠杆式引伸儀，包括：工作原理、構造、安裝、調整和使用保養等。

本書的讀者對象：材料試驗室和結構試驗室的工作人員、工程技術人員、工業學校學生等。

杠杆式伸引儀

吳鏗卿編著

第一機械工業部教材編審委員會編輯（北京復興門外三里河第一機械工業部）

中國工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

中國工業出版社第四印刷廠印刷

新華書店北京發行所發行·各地新華書店經售

開本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印張 $7/8$ ·字數20,000

1962年3月北京第一版·1962年3月北京第一次印刷

印數0001—2,160·定價(10-7)0.14元

統一書號：15165·396(一機-65)

序 言

不論是机器的零件或建筑结构的构件，在使用时都受到外力，所以在它的表面层和内部就产生应力以及相关的变形。弹性力学中所研究的应力和变形问题，一般限于物体形状和受力状态都比较简单的情形。但工程实际中却往往有许多零件和构件，不但形状复杂，而且受力情况亦颇复杂，这样，应力和变形的理论分析就根本不能或只能经过简化后近似地进行。因此便需要通过实验的方法来表明哪些部分应力小，材料过多，哪些部分应力大，需要补充材料，使材料得到合理分配和充分利用，达到节约原材料的目的。所以，实验的分析方法具有极大的经济意义。

只有少数个别的情形，例如钢筋混凝土壩，在建造过程中可以把测量变形的导电元件预先埋入混凝土内并由导线引出，以便在建成后使用时不断测量壩的内部变形，从而根据表示变形和应力关系的虎克定律算出相应的应力。但是对于金属的零件和构件，就不允许这样来测量内部变形。因此，通常的方法是当零件或构件受力时测量它们表面上某些主要点的变形，从而算出这些点的应力，还可以进一步推算出内部某些点的应力。不过在推算前应知道变形和应力的关系，因此，首先应把试件材料的有关各弹性常数用实验方法加以测定。所有这些测定都要用到变形仪。

常用的变形仪可分为四类：（1）机械式变形仪；（2）电变形仪（主要是电阻变形仪）；（3）镜式变形仪；（4）复合式变形仪。前二种在现场中用得最多。虽然近廿年来采用电阻变形仪的范围愈来愈广泛，这是由于它具有许多独特的优点，诸如灵敏度高，可使用于动荷情况等；但由于它亦有某些缺点，例如不便立

刻使用，电阻片至少在試驗前数小时粘貼，所以仍不能完全代替机械式变形仪和鏡式变形仪。在这本册子里，所叙述的是属于第一类内的杠杆式引伸仪，这种型式目前用得較多。和其他机械式变形仪相同，由于慣性的緣故，它只能測定受靜荷的試件的变形，而不能应用到受动荷的試件。这种变形仪具有如下几个主要优点：

(1) 拆装迅速；

(2) 不需要其他輔助測量設備，直接可从引伸仪刻度讀得变形；

(3) 进行檢查很方便。

但它亦有一些缺点：

(1) 不能測动荷变形；

(2) 因为是鉸連接，所以可能产生指針不动的不灵敏現象；

(3) 变形如超过 40 微米，需要重新撥动指針回到零点；

(4) 不宜在風雨等室外情況下使用。

这本册子叙述杠杆式引伸仪的目次如下：

- 1 杠杆式引伸仪的构造和原理
- 2 規格
- 3 安裝及安裝附件
- 4 变标距引伸仪
- 5 保养
- 6 引伸仪校正器

1 杠杆式引伸仪的构造和原理

杠杆式引伸仪的构造简图如图 1 a 所示。当試件 1 受力变形时，引伸仪的固定刀口 a 和可动刀口 b 之间的距离 l (称为标距) 随着改变了 Δl ，使可动刀口以及跟它相连的测量杠杆 2 都转过角度 $\frac{\Delta l}{h_1}$ 。杠杆 2 的移动通过 T 形片 3 而传到绕铰 4 旋转的指针 5。引伸仪刻度上共有 40~50 小格，每小格宽 1 毫米。当試件受力变形时，指针末端就因此而移动

$$S = \frac{H_1}{h_1} \cdot \frac{H_2}{h_2} \Delta l (\text{毫米})。$$

比值 $\frac{S}{\Delta l}$ 称为引伸仪的放大倍数，记作 m 。于是从上式得到

$$m = \frac{H_1}{h_1} \cdot \frac{H_2}{h_2} \quad (1)$$

螺旋弹簧 6 用来消除各铰 (支点) 的间隙，防止試件有变形而指针呆滞不动的现象。调整螺丝 7 可使铰 4 左右移动，把指针搬到刻度上任一位置；同时，在测量变形过程中，如果指针将超过刻度范围而试验尚未结束，可靠它把指针重新搬回到零点。锁杆 8

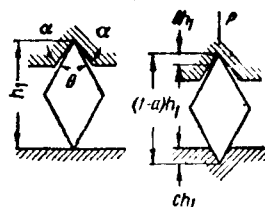
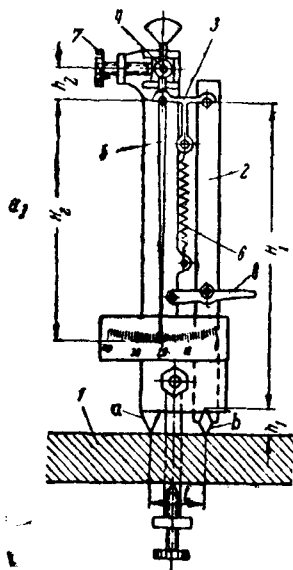


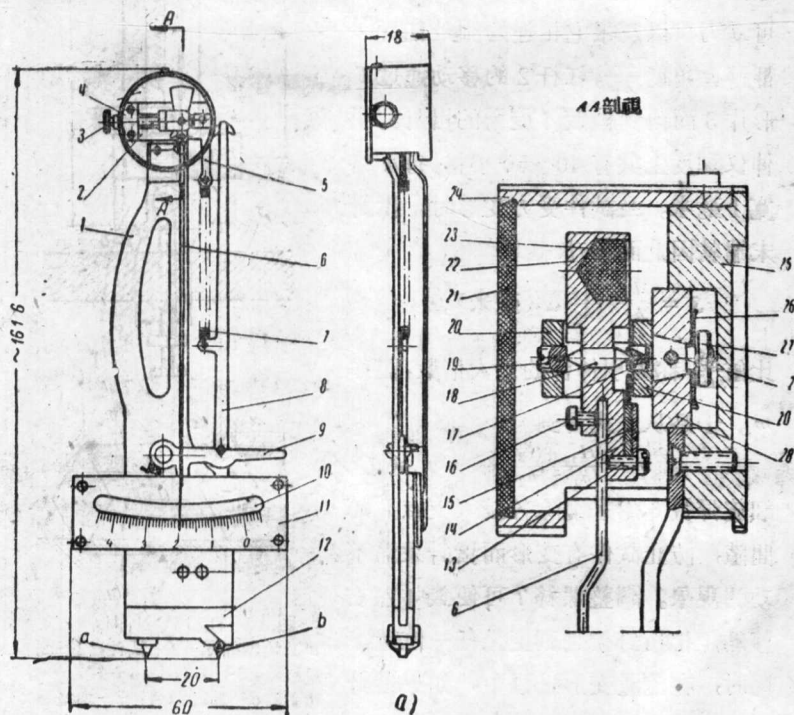
图 1 杠杆式引伸仪：

- a) 构造简图：1—試件；2—测量杠杆；3—T形片；4—铰；5—指针；6—螺旋弹簧；7—调整螺丝；8—锁杆；a—固定刀口；b—可动刀口。
b) 可动刀口的有效长度。

是在安装引伸仪时锁定杠杆2的，在较精密的杠杆式引伸仪中，锁杆锁定指针，但其作用相同，都是锁定杠杆机构。

整个引伸仪是用合金钢制成的，表面镀铬或喷漆。它很容易拆开清洗。

图2a是苏联TP型杠杆式引伸仪的构造图，图2b是它的测量杠杆。



2 規格

選購或選用杠杆式引伸儀時，根據實際需要選擇合適的一種，這便需要參看引伸儀的規格。規格中一般包括：（1）標距；（2）放大倍數；（3）尺寸（高、寬、厚）；重量；可測範圍；小格數等。這些我們將在下面依次加以說明。

1. 標距 引伸儀常根據標距的大小來分類。上節已經講過，標距是兩個刀口之間的距離。

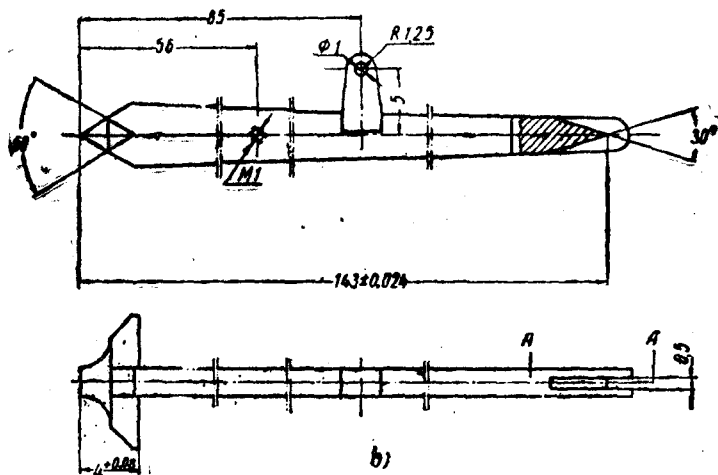


圖2 蘇聯TP型杠杆式引伸儀：

- a) 引伸儀構造圖：1—主架；2—調整螺絲；3—鉗頭；4—軸承；5—T形片；6—指針；7—螺旋彈簧；8—測量杠杆；9—鎖杆；10—鏡子；11—刻度片；12—底座；13—固定螺絲；14—衬片；15—刀口；16—固定螺絲；17—心軸軸承；18—心軸；19—心軸軸承；20—U形架；21—蓋；22—衡重；23—鉛；24—护罩；25—座塊；26—簧片；27—螺母；28—導座；a—固定刀口；b—可動刀口。 b) 引伸儀的測量杠杆。

小标距引伸仪，是指标距 0.5~3 毫米的引伸仪。这种引伸仪经常用在试件表面的变形有急剧变化即变形梯度很大的部分，例如有应力集中的圆孔边缘。

中标距引伸仪，是指标距 3~25 毫米的引伸仪，它用在变形梯度不大的试件上。一般的杠杆式引伸仪都属于这一类，常用的标距是 20 毫米。

凡标距大于 25 毫米的，就认为是大标距引伸仪。但是对杠杆式引伸仪来说，实际上不用这一种，只是把中标距引伸仪再加接标距延长杆（见第 3 节“安装及安装附件”）。对于测定材料机械性能的试件以及建筑结构的构件，由于变形梯度很小，为了增加精确度，常采用这一方法。

有些引伸仪，它的标距是可以改变的，例如图 2a 的引伸仪只要把它的固定刀口拆下反转后再装上，标距便从 20 毫米改变到 10 毫米。

2. 放大倍数和刻度值 放大倍数可以表示引伸仪的精确度和灵敏度。放大倍数愈大，表示在一定的 Δl 下 S 愈大，因而精确度和灵敏度亦愈高。

杠杆式引伸仪的放大倍数一般在 200~3000 之间，最常遇到的是 1000。引伸仪在出厂前都经过个别校正，即使是同一种产品，因为制造上的误差，它们的放大倍数亦稍有不同。例如，名义上放大倍数是 1000，实际上可能是 997 或 1010 等相近的数字，这些都由引伸仪校正器来确定（第 6 节），一般允许有 $\pm 10\%$ 的差别。

放大倍数的倒数 $\frac{1}{m}$ ，就是刻度上每小格所代表的绝对变形数值，称为刻度值 K 。

$$K = \frac{1}{m} \quad (2)$$

例如 $m = 1200$ 的引伸仪，它的刻度值是 $\frac{1}{1200}$ 毫米或 0.835 微米，而它的精确度是 $\frac{1}{10}$ 刻度值或 0.0835 微米，也就是能够估计的数值。刻度值愈小，引伸仪的精确度和灵敏度便愈高。

但是对于测量相对变形来说，它的灵敏度还跟引伸仪的标距大小有关。标距增大一倍，灵敏度亦增大一倍，这就是我们所以要尽量采用大标距的缘故。同时亦说明了，小标距引伸仪的放大倍数往往很大，一般总超过 1000。

表 1

材 料	弹性模数 E (公斤/厘米 ²)	1 小格所代表的应力(公斤/厘米 ²), 分四种不同标距 l (厘米)			
		2	10	20	100
鋼	2.1×10^6	105.0	21.0	10.50	2.10
混凝土(受压)	2.3×10^5	11.5	2.3	1.15	0.23
木材	1×10^5	5.0	1.0	0.50	0.10
石	3×10^4	1.5	0.3	0.15	0.03

表 1 表示在不同试件材料和不同标距下，引伸仪每小格所代表的应力。所用引伸仪的放大倍数是 1000，应力是根据单向受力的虎克定律公式 $\sigma = E\varepsilon$ 计算得到的。

3. 其他 对于杠杆式引伸仪，由于可动刀口在构造上的限制，它的可测范围相当小，在 0.15~0.25 毫米之间，因此只限于测量弹性限度内微小的相对变形。

杠杆式引伸仪的自身重量在 20~70 克之间。重量愈轻愈佳。如试验轻型结构或赛璐珞薄片时，引伸仪必须很轻，否则会影响到试件的应力分布。此外，重量轻的引伸仪安装亦较容易。引伸仪如果重量较大，刀口对试件的压力将较大，这会影响到引伸仪的准确度。

如果试件材料的弹性模数颇低，特别是塑料等，增加刀口压

力，就会减少可动刀口的有效长度，实际上等于增加引伸仪的放大倍数，影响到它的准确度。由于刀口压力，缩短了 $a h_1$ (图1b)；由于刀口切入试件，又减少了 $c h_1$ ；由于刀口顶端和槽二者的变形，再减少了 $b h_1$ 。有效长度最后变成 $(1-a-b-c) h_1$ ，其中 a 、 b 、 c 各约等于

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{2P}{\vartheta E h_1 t} \lg \frac{\vartheta h_1}{2u}, \\ b &= \frac{P}{4\alpha E h_1 t}, \\ c &= \frac{P}{\vartheta \sigma_T h_1 t}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 t 是可动刀口的厚度， E 是刀口材料的弹性模数， σ_T 是试件材料的屈服极限， ϑ 和 α 都以弧度表示，

u 是刀口末端很小的宽度。例如刀口压力

$P = 4$ 公斤， $\vartheta = 1$ ， $\alpha = 0.03$ ， $E = 2 \times 10^6$ 公斤/厘米²， $\sigma_T = 2000$ 公斤/厘米²， $h_1 = 4$ 毫米， $t = 1.5$ 毫米， $u = 0.0025$ 毫米，从

式 (3) 计算得

$$a = 0.00045, \quad b = 0.00028,$$

$$c = 0.033.$$

由此可见， c 比 a 和 b 大得多。这表明：可动刀口自身变形的影响不大，但刀口切入试件而减少可动刀口有效长度的结果，却使引伸仪放大倍数增加 3.5%。

假如能减小刀口压力，这种误差当然可以减少或可略去不计。所以要求引伸仪的重量轻而重心低，这样，刀口压力可以

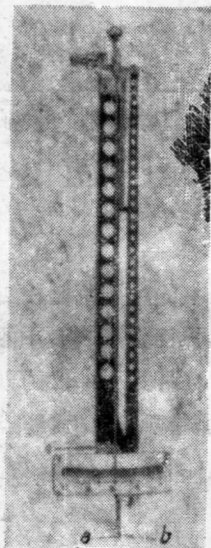


图3 标距5毫米的引伸仪。

不致过大。这对放大倍数很高的、标距較小的引伸仪尤其重要。这种引伸仪上钻有許多減輕重量的圓孔，而且愈靠近引伸仪頂部愈好；此外它的上部还常采用輕金屬制成，參見图 3。引伸仪在水平安装的情形下，最好能使可动刀口在上方而固定刀口在下方，这样，可动刀口的压力就小于固定刀口。对标距較小的引伸仪更应注意这点。

在选购引伸仪时，除了上述那些項目應該注意外，对于保养的难易，安装附件的多少，尺寸大小，坚固和耐用方面以及价格等亦要适当加以考虑。

表 2 是 TP 型引伸仪（图 2）的規格。

表 2

标距(毫米)	放大倍数	小格数	誤差(每50小格)	尺寸(毫米)	重量(克)
20(±0.05)	1000(±10%)	50	±1	$\begin{cases} 162 \times 60 \times 18 \\ 135 \times 60 \times 14 \end{cases}$	$\begin{cases} 70 \\ 50 \end{cases}$

3 安装及安装附件

引伸仪的使用是否正常，大部分决定于安装是否正确。对于金屬試件，引伸仪刀口可直接与它的表面接触。試件表面經過仔細清除污垢、漆和銹后，再加工达到光洁度 $\nabla\nabla 5$ ，然后划綫确定受測点位置及指定的方向。引伸仪安装时应使受測点位在标距的中点，而二刀口的連綫必須与所規定的方向一致。对于木材和混凝土（或石、磚等）的构件，在刀口下应填以小金屬薄片（軟鋼片或黃銅片），一般是3~5毫米的正方形（參見图7b）。薄片用胶水或胶布粘在混凝土（或石）上。如为木試件，則可用小釘把薄片釘牢，或者采用四角有卷釘的薄片。如果将引伸仪直接安装

在这种材料的試件上，因为刀口切入木材或埋入粗糙的混凝土表面，便会使讀数引起很大誤差。对混凝土試件表面另一种处理方法，是把表面受测部分用水泥加工平整。在刀口安放点应划二細痕，以便刀口定位。在不便划綫的情形下，对有些在刀口上方有钻的引伸仪，则可輕敲此钻达到定位目的。

引伸仪应安装得与受测表面相垂直。如果預先知道变形将是伸长，开始时指針应撥到刻度右边的零点；如果知道是縮短，則指針撥到左边滿格；如果不知道变形是伸长或縮短，可撥在中間刻度。

安装引伸仪是否完善，可用如下的簡便方法来檢查。用鉛笔輕輕敲击引伸仪主架或安装附件，或把指針末端向一旁撥动2~3小格。假如指針不因此而发生蠕动或抖动几次后仍回到原来位置，这說明各杠杆之間的相互作用良好，安装情况完善。这样的檢查需要反复进行几次。若发现有蠕动現象，說明引伸仪安装不妥，必須重新进行。待引伸仪安装完毕，才开始試驗。

将引伸仪安装在試件上，必須使用一些附件。附件的种类很多，以下所述的是經常用到的几种。选用这些安装附件主要根据試件材料，受测点的位置以及在該位置試件橫截面的形状和尺寸而定。

1. 标距延长杆 測量結構构件的变形，由于变形梯度小，而且变形亦小，則为了增加所测得的相对变形的精确度，可增长引伸仪原来的标距，这便要用到标距延长杆（參見图4）。标距延长杆的規格以延长标距为准，一般有50、100、200、500、1000毫米等数种。由于延长杆上正在固定刀口上方的固定螺釘可以松紧，移动固定刀口还可在最大限度以内的某一範圍内改变标距。杆上有孔以便穿心針通过〔見17頁7〕。对于那些标距为200、500，

1000毫米的延长杆，由于杆较长，若采用热膨胀系数极小的钢钒钢制成，还能准确地测定构件因温度改变而产生的变形。在安装时，用重5~10克的小锤轻击固定刀口上部的钻，使固定刀口切入金属表面些。

2. 单式和双式夹头 图5以及图4所示是单式夹头，它只能在试件上安装一个引伸仪。一般备有大小二种。小单式夹头把引伸仪安装在离横截面边缘最大是2.5~5厘米的部分，截面厚度最大是10~15厘米。大的夹头能夹住的试件的宽度 b 和高度 h 约比小的大一倍。

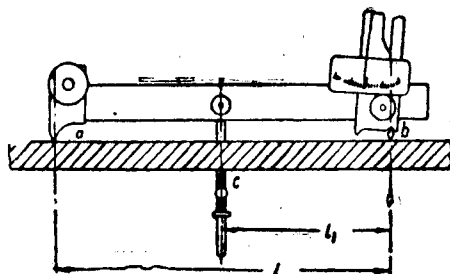


图4 加接标距延长杆的引伸仪。

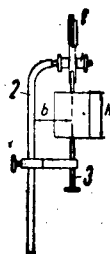


图5 单式夹头：

- 1—引伸仪；2—导杆；
3—固定螺钉。

图6a以及图18所示是双式夹头，它可以同时在试件上安装二个引伸仪。由于在安装时要照顾到二个引伸仪的刀口的位置，所以安装比单式夹头麻烦些。在拉伸和压缩试验中，因为受力不免有些偏心，所以需要同时测定试件二侧纤维的变形，就常采用这种夹头。假如又要测量横向变形，则可采用图6b的双式夹头。有时由于试件较大，如钢筋混凝土柱，可用图7所示的组合双式夹头。图7a中可以看到两块粘贴在柱上的支承刀口的金属薄片。图7b是一种较简单的组合双式夹头。

3. 磁鉄夹头 在尺寸較大的鋼制零件或构件上, 如果用电磁鉄夹头来安装引伸仪有时会觉得非常方便, 特別在其他夹头不能使用的情况下。图 8 a 和 b 是利用这种夹头安装引伸仪的情形。二图的情况稍有不同。图 8 a 的夹头多了一条延伸杆 3, 因此在不移动夹头的情形下可以在約有 10 厘米直径的圓周范围内安装引伸仪。图 8 b 的角片 2 比較长, 夹头是跨在角片上, 然后旋轉螺釘 3 頂住角片〔見 17 頁 6〕, 引伸仪便固定了。电磁鉄的电源是直流, 电压一般約 10 伏, 电流約 0.35 安,

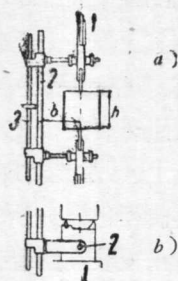


图 6 二种双式夹头:

a) 测量纵向变形: 1—引伸仪; 2—导杆; 3—固定螺钉 (左、右螺紋)。b) 测量横向变形: 1—引伸仪; 2—短穿心針。

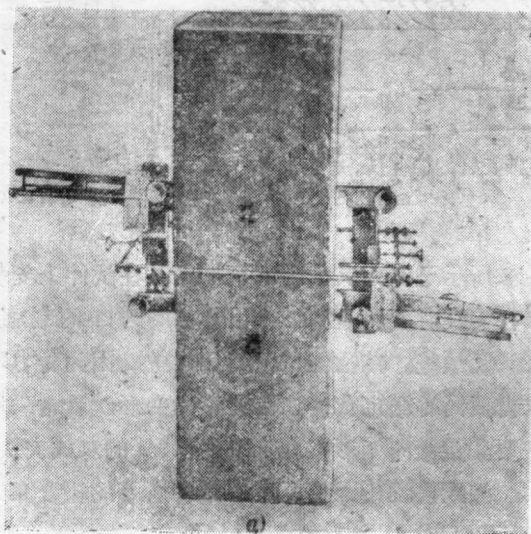
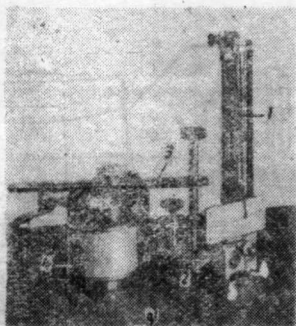
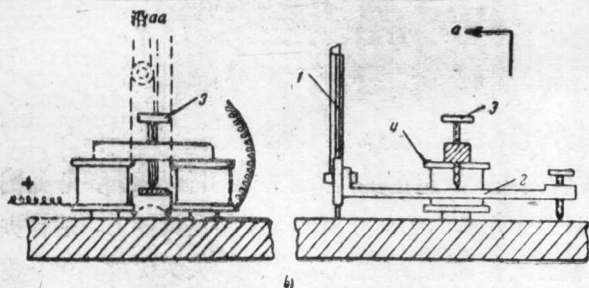


图 7 組合双式夹头:

a) 适用于較大試件; b) 适用于較小試件。



b)



b)

图 8 用磁铁夹头安装引伸仪:

a) 有延伸杆: 1—引伸仪; 2—角片; 3—延伸杆; 4—电磁铁。

b) 不用延伸杆: 1—引伸仪; 2—角片; 3—压紧螺钉; 4—电磁铁。

可用普通干电池或电瓶供电。磁铁的吸力很大, 通常达 40 公斤左右。

但电磁铁夹头有一个缺点, 在试验进行过程中, 如果突然发生断电, 夹头连同引伸仪都会坠地跌坏。预防的办法是用纱带或细金属丝把夹头和引伸仪都系在试件上。近年来, 已逐渐采用永久磁铁, 这样就避免了上述电磁铁夹头的缺点, 同时亦避免了使用电源的麻烦。这种永久磁铁夹头中有一个闌杆。如果把闌杆往一边推移, 磁力线通过闌杆, 夹头就不吸在试件上; 如果把闌杆往

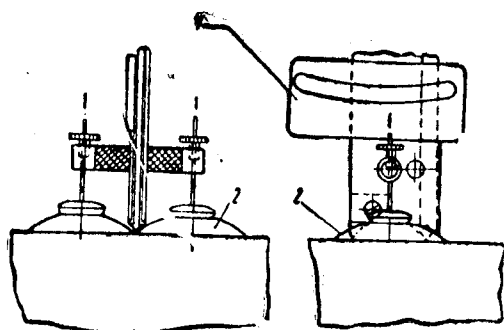


图9 用皮碗夹头安装引伸仪：

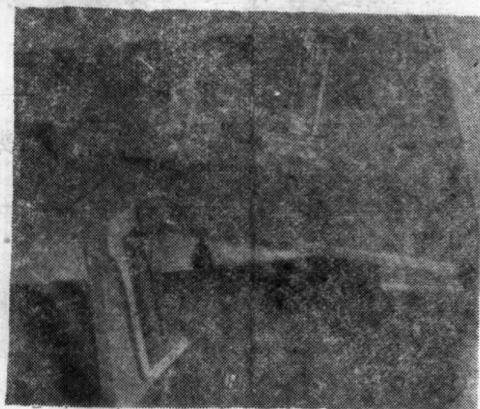
1—引伸仪；2—皮碗。

另一边推移，磁力线便通过试件而把它吸住。

4. 皮碗夹头 应用皮碗夹头来安装引伸仪的情况如图9所示。夹头靠二个皮碗内的部分真空而紧贴在试件上。这种夹头对于任何材料的试件都适用，这方面比磁铁夹头优越。但是皮碗所在的试件表面必须相当光滑，并且不能有太大的曲率，否则会因皮碗吸贴不牢而发生引伸仪跌坏的事故。在使用前应该把皮碗检查一下，是否会发生漏气。

这种夹头的最大优点是价格低廉，使用方便。但它亦有一个缺点。由于皮碗与试件的接触面积较大，而在试件变形时二皮碗间的纤维亦有变形，这样就会引起引伸仪固定情况的改变，使引伸仪产生滑移，结果影响到读数的准确性。磁铁夹头也同样有这一缺点。

5. 槽形片 这种夹头用于变形纤维所在的表面相当大的情形，所以主要是应用在结构的构件和其他尺寸较大的零件。片本身依靠一个螺钉固定在试件上（虽然具有二孔），如图10a所示。



b)

图10 用槽形片安装引伸仪:

- a) 槽形片由螺钉固定: 1—槽形片; 2—标距延长杆; 3—穿心针;
4—固定螺钉。 b) 槽形片由夹具固定。

由于螺孔位置是偏边的, 这样, 片就能偏移到以此孔为中心的圆的任何半径上, 可见安装引伸仪的范围相当大。片的二旁是二块齿板, 形如梳子, 以便扣住穿心针。引伸仪可放在穿心针中间约 $1/3$ 长度内的任何位置上, 而且二针端在二旁齿板的位置亦不一定相同, 可以相差一、二齿。穿心针应该稍微弯曲, 使引伸仪刀口受到适当压力。槽形片应稍有曲率, 这样就具有锁住螺钉的作用。

这种夹头的缺点是要在试件上钻孔。在木结构上, 可用一木螺丝把槽形片钉牢; 对于钢筋混凝土结构, 可预先在近表面部分附近埋一个螺母 (或螺钉); 在钢结构中, 则为了避免钻孔后可能