

高等学校教材



材料力学实验

刘鸿文 吕荣坤 编

高等教育出版社

第一章 绪 论

§ 1.1 材料力学实验的内容

材料力学实验有以下三方面的内容:

1. 材料的力学性能测定。材料的各项强度指标,如屈服极限、强度极限、持久极限等以及材料的弹性性能,如弹性极限、弹性模量等,都是设计构件的基本参数和依据,而这些参数一般要通过实验来测定。随着材料科学的发展,各种新型合金材料、合成材料不断出现,力学性能的测定,是研究每一种新型材料的首要任务。

2. 验证已建立的理论。材料力学的一些理论是以假设为基础而导出的,例如杆件弯曲理论就以平面假设为基础。用实验验证这些理论的正确性和适用范围,更可加深对理论的认识和理解。至于对新建立的理论 and 公式,用实验来验证更是必不可少的。

3. 应力分析实验。某些情况下,例如因构件几何形状不规则或受力复杂等,应力计算并无适用的理论。这时,用诸如电测、光弹性等实验应力分析的方法直接测定构件的应力,便成为有效的方法。对经过较大简化后得到的理论计算或数值计算,其结果的可靠性更有赖于实验应力分析的验证。

§ 1.2 材料力学实验的标准、方法和要求

材料的力学性能如强度指标的屈服极限、强度极限、冲击韧性、持久极限等,虽是材料的固有属性,但往往与试样的形状和尺寸、表面加工精度、加载速度、周围环境(温度、介质等)等有关。为使试验结果能相互比较,国家对试样的取材、形状尺寸、加工精度、试验手段和方法以及数据处理等都作了统一规定,这就是国家标

准。我国国家标准的代号是 GB。其他国家也有各自的标准,例如美国的为 ASTM。国际标准的代号为 ISO。国际间需要作仲裁试验时,以国际标准为依据。

破坏性试验,如材料强度指标的测定,考虑到材料质地的不均匀性,应采用多根试样,然后综合多根试样的结果,得出材料的性能指标。非破坏性试验,如构件的变形测量,因为要借助于变形放大仪表,为减小测量系统引入的误差,一般要多次重复进行,然后综合多次测量的数据得到所需结果。

实验应力分析除前面提到的电测法及光弹性法外,还有激光全息光弹性法、散斑干涉法、云纹法、声弹法等。采用何种方法取决于试验的目的和对试验精度的要求。一般说,如仅需了解构件某一局部的应力分布,电测法比较合适;如需了解构件的整体应力分布,则以光弹性法为宜。有时也可把几种方法联合使用,例如可用光弹性法判定构件危险截面的位置,再使用电测法测出危险截面的局部应力分布。关于实验应力分析,本书主要介绍电测法,并对光弹性法作简要介绍。至于其他方法,如有需要可参看实验应力分析方面的著作。

整理试验结果时,应剔除明显不合理的数据,并以表格或图线表明所得成果。数据运算一般只保留三位有效数字。最后,要求把试验结果写成报告。作为示范,本书中有几个试验记录和报告可供读者参考,有些实验则要求读者独立完成报告。

第二章 材料的力学性能测定

§ 2.1 液压式万能材料试验机

材料试验机是测定材料的力学性能的主要设备。常用的材料试验机有拉力试验机、压力试验机、扭转试验机、冲击试验机、疲劳试验机等。能兼作拉伸、压缩、弯曲等多种试验的试验机称为万能材料试验机，简称万能机。供静力试验用的普通万能材料试验机，按其传递载荷的原理可分为液压式和机械式两类。现以国产 WE 系列

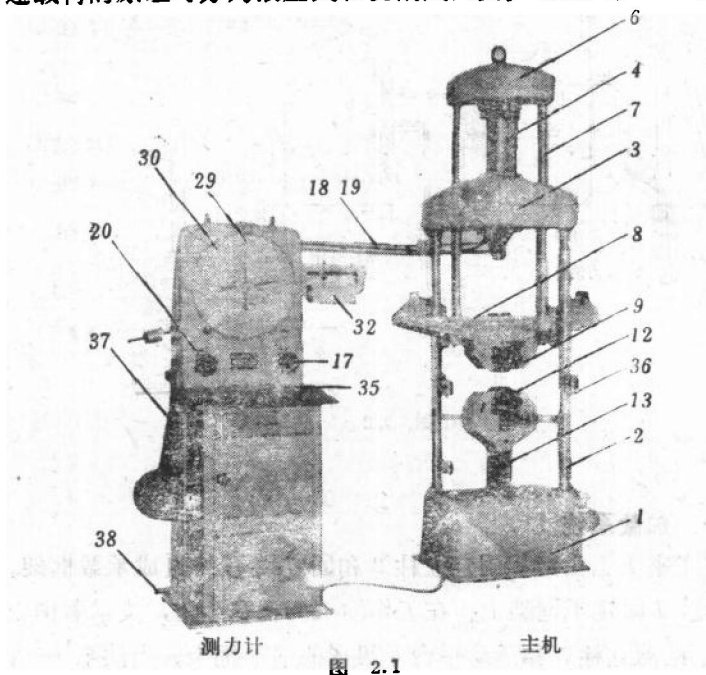


图 2.1

- 1—底座；2—固定立柱；3—固定横梁；4—工作油缸；6—上横梁；
7—活动立柱；8—活动平台；9—上夹头；12—下夹头；16—螺杆；
17—送油阀；18, 19—油管；20—回油阀；29—示力指针；30—示力度盘；
32—溢阀；35—油泵电机开关；36—下夹头升降按钮；37—油箱；38—放油阀

为例,介绍液压万能机。图 2.1 为这一系列中最常见的 WE-100A、300、600 试验机,其结构简图如图 2.2 所示。下面分别介绍其加载系统和测力系统。

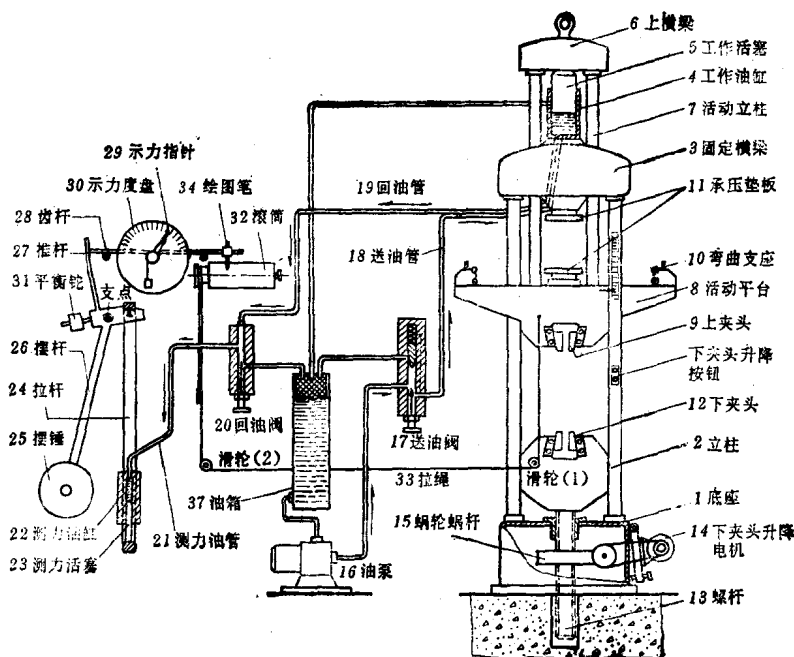


图 2.2

一、加载系统

在底座 1 上由两根固定立柱 2 和固定横梁 3 组成承载框架。工作油缸 4 固定于框架上。在工作油缸的活塞 5 上,支承着由上横梁 6、活动立柱 7 和活动平台 8 组成的活动框架。当油泵 16 开动时,油液通过送油阀 17,经送油管 18 进入工作油缸,把活塞 5 连同活动平台 8 一同顶起。这样,如把试样安装于上夹头 9 和下夹头 12 之间,由于下夹头固定,上夹头随活动平台上升,试样将受

到拉伸。若把试样置放于两个承压垫板 11 之间,或将受弯试样置放于两个弯曲支座 10 上,则因固定横梁不动而活动平台上升,试样将分别受到压缩或弯曲。此外,试验开始前如欲调整上、下夹头之间的距离,则可开动电机 14,驱动螺杆 13,便可使下夹头 12 上升或下降。但电机 14 不能用来给试样施加拉力。

二、测力系统

加载时,开动油泵电机,打开送油阀 17,油泵把油液送入工作油缸 4 顶起工作活塞 5 给试样加载;同时,油液经回油管 19 及测力油管 21(这时回油阀 20 是关闭的,油液不能流回油箱),进入测力油缸 22,压迫测力活塞 23,使它带动拉杆 24 向下移动,从而迫使摆杆 26 和摆锤 25 联同推杆 27 绕支点偏转。推杆偏转时,推动齿杆 28 作水平移动,于是驱动示力盘的指针齿轮,使示力指针 29 绕示力度盘 30 的中心旋转。示力指针旋转的角度与测力油缸活塞上的总压力(即拉杆 24 所受拉力)成正比。因为测力油缸和工作油缸中油压压强相同,两个油缸活塞上的总压力成正比(活塞面积之比)。这样,示力指针的转角便与工作油缸活塞上的总压力,亦即试样所受载荷成正比。经过标定便可使指针在示力度盘上直接指示载荷的大小。

试验机一般配有重量不同的摆锤,可供选择。对重量不同的摆锤,使示力指针转同样的转角,所需油压并不相同,即载荷并不相同。所以,示力度盘上由刻度表示的测力范围应与摆锤的重量相匹配。以 WE-300 试验机为例,它配有 A、B、C 三种摆锤。摆锤 A 对应的测力范围为 0—60kN, A+B 对应 0—150kN, A+B+C 对应 0—300kN。

开动油泵电机,送油阀开启的大小可以调节油液进入工作油缸的快慢,因而可用以控制增加载荷的速度。开启回油阀 20,可使工作油缸中的油液经回油管 19 泄回油箱 37,从而卸减试样所

受载荷。

试验开始前,为消除活动框架等的自重影响,应开动油泵送油,将活动平台略微升高。然后调节测力部分的平衡砣 31,使摆杆保持垂直位置,并使示力指针指在零点。

试验机上一般还有自动绘图装置。它的工作原理是,活动平台上升时,由绕过滑轮(1)和(2)的拉绳 33 带动滚筒 32 绕轴线转动,在滚筒圆柱面上构成沿周线表示位移的坐标;同时,齿杆 28 的移动构成沿滚筒轴线表示载荷的坐标。这样,试验时绘图笔 34 在滚筒上就可自动绘出载荷-位移曲线。当然,这只是一条定性曲线,不是很准确的。

在 WE 系列液压万能机中,尚有 WE-B 型产品,其结构与工作原理和上述 WE-A 型相近,不再介绍。

三、操作规程及注意事项

1. 根据试样尺寸和材料,估计最大载荷,选定相适应的示力度盘和摆锤重量。需要自动绘图时,事先应将滚筒上的纸和笔装妥。

2. 先关闭送油阀及回油阀,再开动油泵电机。待油泵工作正常后,开启送油阀将活动平台升高约 1 cm,以消除其自重。然后关闭送油阀,调整示力度盘指针使它指在零点。

3. 安装拉伸试样时,可开动下夹头升降电机以调整下夹头位置,但不能用下夹头升降电机给试样加载。

4. 缓慢开启送油阀,给试件平稳加载。应避免油阀开启过大进油太快。试验进行中,注意不要触动摆杆或摆锤。

5. 试验完毕,关闭送油阀,停止油泵工作。破坏性试验先取下试样,再缓缓打开回油阀将油液放回油箱。非破坏性实验,自然应先开回油阀卸载,才能取下试样。

§ 2.2 机械式万能材料试验机

现以杠杆摆式 100kN 万能机为例介绍机械式万能机。其外形见图 2.3, 结构简图如图 2.4 所示。

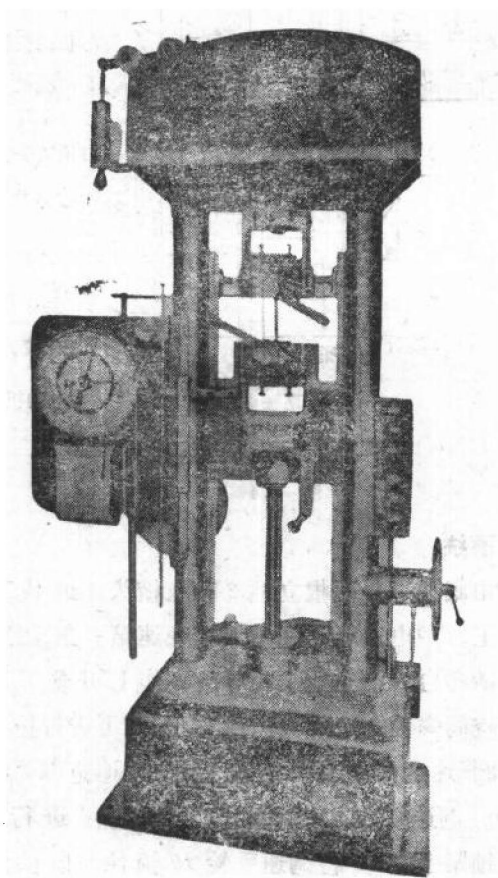


图 2.3

柄 12 扳到手摇加载的位置, 转动手摇柄 13 便可使活动台缓慢上升或下降。

活动台后面的小电动机 14 用于快速调整活动台的位置。使用时将离合器手柄 12 扳到“快速”位置, 开动主电动机 6 和小电动机 4, 按下机动电钮 15 的“升”或“降”。小电动机 4 只能用于调整活动台的位置, 不能用以加载, 且因速度很快, 要及时停车以免冲撞。

二、测力系统

拉伸试验时上夹头 16 受拉, 杠杆 AB 顺时针方向转动(刀口 G 与支座脱离), 带动杠杆 DE 绕 D 点反时针方向转动, 通过刀架 EF 使摆杆 17 和摆锤 18 偏转, 从而推动齿杆 19 水平移动, 使示力指针 20 旋转, 指示出载荷的大小。压缩或弯曲试验时, 杠杆 AB 受力的方向与拉伸试验时相反, 变为 A 点与支座脱开, G 点与支座接触, 仍然带动杠杆 DE 作反时针方向转动, 摆杆的偏转方向与拉伸试验时相同。这种试验机的摆锤也有三种, 分别对应 0—20 kN(0—2 t)、0—50 kN(0—5 t)和 0—100 kN(0—10 t) 等三个测力范围。

上夹头 16 及杠杆系统的重量由平衡砣 21 来平衡。试验开始前调整平衡砣使摆杆 17 保持垂直, 示力指针 20 指在零点, 以后便无需经常调整。阻尼油壶 22 的作用是在试样断裂后缓和摆锤对机器的冲击, 使其缓慢复原。自动绘图装置的原理与液压万能机基本相似。

三、操作规程及注意事项

1. 估计所需最大载荷, 配置相应的摆锤重量。调整平衡砣使摆杆垂直, 并调整指针指在零点。

2. 开动机器, 把活动台调整到合适的高度, 然后停机再安装试样。对拉伸试样应将上、下夹头拧紧。

3. 机动加载时,应选择适当的加载速度,把离合器手柄扳到相应的位置,然后起动机。手摇加载时,为使离合器啮合良好,可一边摇动手摇柄并同时扳动离合器。

4. 快速调整活动台或机动加载时,如需由上升改为下降,或者由下降改为上升,都必须先按“停”然后换向,以免损伤主电动机。

5. 试验进行中,要防止接触摆杆或摆锤。

§ 2.3 机械式引伸仪

材料力学实验中,除测定试样或构件的承载能力外,还经常要测定它们的变形。变形一般很小,要用高精度、高放大倍数的仪器才能测出,这类仪器即为变形仪。机械式引伸仪是变形仪中的一种。

安装于试样上的引伸仪,只能感受试样上长为 l_0 的一段的变化。 l_0 称为标距。引伸仪测出的是 l_0 的长度变化即总变形 Δl 。由此算出的应变 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, 其实是 l_0 范围内的平均应变。由于引伸仪上的读数 ΔA 是经放大系统放大后的数值,应除以引伸仪的放大倍数 k 才是变形 Δl , 即

$$\Delta l = \frac{\Delta A}{k} \quad (2.1)$$

仪器能测量的最大范围称为量程。量程、标距和放大倍数是引伸仪的主要参数。下面介绍几种常用的机械式引伸仪。

一、千分表及百分表

千分表利用齿轮放大原理制成(图 2.5),主要用于测量位移。工作时将细轴的触头紧靠在被测量的物体上,物体的变形将引起触头的上下移动,细轴上的平齿便推动小齿轮以及和它同轴的大

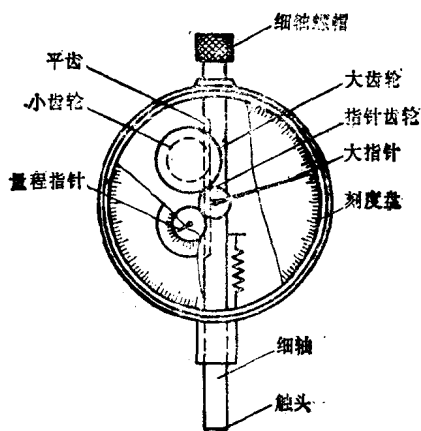


图 2.5

齿轮共同转动,大齿轮带动指针齿轮,于是大指针相随转动。大指针在刻度盘上每转动一格,表示触头的位移为 $\frac{1}{1000}$ mm,即放大倍数为1000,故称为千分表。若大指针每转动一格表示触头的位移为 $\frac{1}{100}$ mm,则称为百分表。大指针转动的圈数可由量程指针予以记忆。百分表的量程一般为5~10 mm,千分表则为3 mm左右。

安装千分表时,应使细轴的方向(亦即触头的位移方向)与被测点的位移方向一致。对细轴应选取适当的预压缩量。测量前可转动刻度盘使指针对准零点。

二、双表引伸仪(蝶式引伸仪)

在双表引伸仪的变形传递架的左、右两部分上,各有一个标杆,标杆上各有一个上刀口(图 2.6)。传递架的左、右两部分上还各自装有一个活动的下刀口。下刀口实际上是杠杆的一端,杠杆的支点在中点,另一端则与千分表(或百分表)的触头接触。上刀口由夹紧架弹簧,下刀口由传递架上的弹簧安装在试样上,上、下

刀口间的距离即为标距。

试样变形时上刀口不动，下刀口绕杠杆支点转动，因而杠杆的另一端推动千分表。由于支点在杠杆的中点，千分表触头的位移与下刀口的位移相等。

改变上刀口在标杆上的位置就可得到不同的标距。按照国家标准的规定，一般取 50mm 和 100 mm 两种标距。

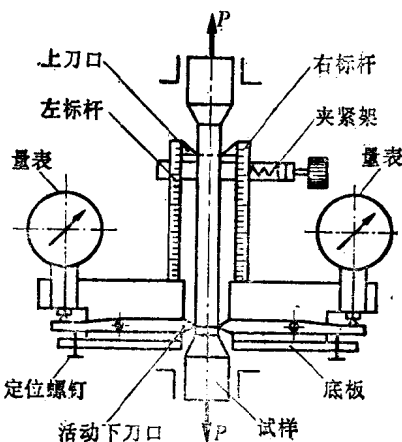


图 2.6

安装双表引伸仪的注意事项是：(1)选定标距，检查标杆和标杆上的上刀口的紧固螺钉是否拧紧，两个上刀口是否对齐。(2)给两个千分表一定的预压缩量，最好使两者的预压缩量相等。(3)引伸仪安装在试样上时，上、下四个刀口的四个接触点与试样轴线应大致在同一平面内。调整千分表的指针指在零点。

三、球铰式引伸仪

图 2.7a 和 b 是 QY-2 型球铰式引伸仪的结构和安装示意图。上、下标距叉由球铰杆和表座板（也是标距板）连接起来，并用弹簧拉紧，组成变形传递架。装于表座板上的千分表的触头与下标距叉接触。旋紧固定顶尖和活动顶尖便可把引伸仪安装于试样上。试样变形时，上标距叉基本不动，下标距叉则因活动顶尖位移，绕球铰中心轻微转动。这样，下标距叉形成一个以球铰为支点的杠杆。按照图 2.7a 所表示的尺寸，千分表触头的位移是活动顶尖位移（亦即试样变形）的两倍。即千分表指针每转动一格，表示触头

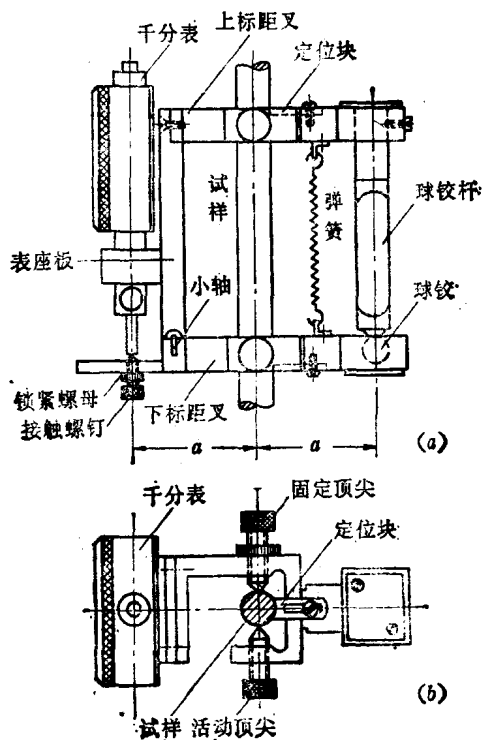


图 2.7

的位移为 $\frac{1}{1000}$ mm, 而试样的变形为 $\frac{1}{2000}$ mm。

安装球铰式引伸仪的注意事项是: (1) 根据试样尺寸调整定位块和顶尖。使小轴的尾部向上, 限制上、下标距叉相对错动。把引伸仪套在试样上, 使定位块与试样靠紧, 旋紧活动顶尖, 使顶尖嵌入试样约为 0.05~0.1mm。(2) 调整接触螺钉, 使千分表的量程指针指在量程的一半左右。用锁紧螺母锁紧接触螺钉。把千分表大指针调整到零位。把小轴尾部旋转向下, 即可开始试验。

§ 2.4 万能机操作及拉伸、压缩示范实验

一、目的要求

1. 了解万能材料试验机的结构及工作原理;熟悉其操作规程及正确使用方法。
2. 通过示范实验,观察低碳钢、铸铁在拉伸和压缩时表现出的变形规律和破坏现象,并进行比较。

二、设备

1. 万能材料试验机。
2. 游标卡尺。

三、万能材料试验机操作实习

根据 § 2.1 和 § 2.2 的介绍,对照万能试验机,了解其结构及工作原理,并按操作规程进行练习。

四、拉伸和压缩试样

由于试样的形状和尺寸对试验结果有一定的影响,为便于相互比较,应按统一规定加工成标准试样。图 2.8a 和 b 分别表示横截面为圆形和矩形的拉伸试样。按现行国家标准 GB6397-86 的规定,拉伸试样分为比例试样和非比例试样两种。比例试样的标距 l_0 与原始横截面积 A_0 的关系规定为

$$l_0 = k\sqrt{A_0} \quad (2.2)$$

系数 k 的数值通常取 5.65 或 11.3,分别称为短试样和长试样。由式(2.2),圆截面的短试样的标距为 $l_0 = 5.65\sqrt{A_0} = 5d_0$,长试样为 $l_0 = 11.3\sqrt{A_0} = 10d_0$ 。试验一般采用短试样。非比例试样的 l_0 和 A_0 不受上列关系的限制。

试样的表面粗糙度应符合国标规定。在图 2.8 中,尺寸 l 称为试样的平行长度,圆截面试样 l 不小于 $l_0 + d_0$; 矩形截面试样 l

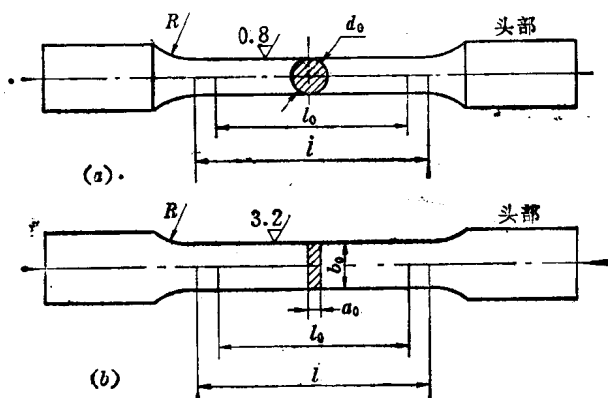


图 2.8

不小于 $l_0 + \frac{b_0}{2}$ 。为保证由平行长度到试样头部的缓和过渡，要有足够的过渡圆弧半径 R 。试样头部的形状和尺寸，与试验机的夹具结构有关，图 2.8 所示适用于楔形夹具。这时，试样头部长度不应小于楔形夹具长度的三分之二。

压缩试样通常为圆柱形，也分短、长两种(图 2.9a 和 b)。试样受压时，两端面与试验机垫板间的摩擦力约束试样的横向变形，影响试样的强度。随着比值 h_0/d_0 的增加，上述摩擦力对试样中部的影响减弱，抗压强度降低。但比值 h_0/d_0 也不能过大，否则将引起失稳。

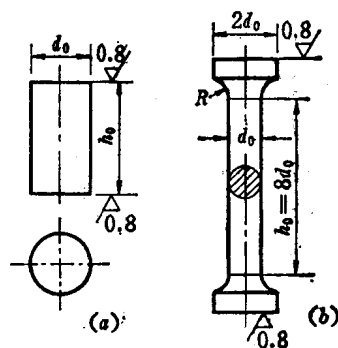


图 2.9

测定材料抗压强度的短试样(图 2.9a)，通常规定 $1 \leq \frac{h_0}{d_0} \leq 3$ 。至于图 2.9b 所示长试样，多用于测定钢、铜等材料的弹性常数 E 、 μ 及比例极限和屈服极限等。

五、拉伸和压缩示范实验

以低碳钢和铸铁拉伸试样做拉伸试验(这只是认识性试验,更详细的拉伸试验见§2.5),可利用自动绘图装置绘出拉力 P 与伸长 Δl 间的关系曲线。要求:(1)注意低碳钢受拉时的几个阶段和主要强度指标对应的特征点。(2)观察铸铁受拉时 P 与 Δl 的关系。(3)比较两种材料受拉时性能的差异和破坏断口。

做低碳钢和铸铁的压缩试验。注意能否得到低碳钢的抗压强度极限,观察铸铁试样的破坏断口。

§2.5 低碳钢拉伸时力学性能的测定

一、目的

1. 验证胡克定律,测定低碳钢的弹性模量 E 。
2. 测定低碳钢的屈服极限 σ_s ,强度极限 σ_b ,延伸率 δ 和截面收缩率 ψ 。
3. 熟悉双表引伸仪或球铰式引伸仪的使用方法。

二、设备及试样

1. 万能材料试验机。
2. 双表引伸仪或球铰式引伸仪。
3. 游标卡尺。
4. 低碳钢拉伸试样, $l_0 = 5d_0$,将 l_0 十等分,用划线机刻划圆周等分线,或用打点机打上等分点。

三、试验原理及方法

常温下的拉伸试验是测定材料力学性能的基本试验。可用以测定弹性常数 E 和 μ ,比例极限 σ_p ,屈服极限 σ_s (或规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$),强度极限 σ_b ,延伸率 δ 和截面收缩率 ψ 等。这些指标都是工程设计的主要依据。