

建筑材料试验方法与原理

南京工学院建筑材料及制品教研组

一九八〇年十二月

建筑材料试验方法与原理

目 录

绪论	1
第一章 材料试验机	4
1-1 压力试验机	4
1-2 全能试验机	6
1-3 试验机的校正	10
第二章 变形测量仪器	14
2-1 百分表	14
2-2 杠杆式引伸仪	15
2-3 镜式引伸仪	17
2-4 电阻应变仪	19
第三章 材料力学性能试验的基本知识	56
3-1 材料的力学性能与试验的分类	56
3-2 试验条件	59
3-3 应力与应变	61
第四章 拉伸和压缩试验	64
拉伸试验	64
4-1 对拉伸试件的要求	64
4-2 夹具装置	68
4-3 试验过程	70
4-4 主要影响因素	71
4-5 钢筋拉伸试验	72
4-6 混凝土抗拉强度试验	77
4-7 木材顺纹抗拉强度试验	80
压缩试验	82
4-8 对抗压试件的要求	82

4-9	支承板及球面支压	83
4-10	试验过程	83
4-11	主要影响因素	85
4-12	混凝土抗压强度试验	86
4-13	木材顺纹抗压强度试验	88
4-14	普通粘土砖抗压强度试验	89
4-15	建筑石材抗压强度及软化系数试验	90
4-16	混凝土抗压弹性模量试验	91
第五章	剪切与弯曲试验	98
	剪切试验	98
5-1	在剪应力作用下材料的特性	99
5-2	剪切试验的类型	102
5-3	木材的剪切试验	103
5-4	加气混凝土的抗剪强度试验	105
	弯曲试验	105
5-5	材料受弯特性	106
5-6	受弯破坏	110
5-7	受弯试验的试件	111
5-8	影响弯曲试验的主要因素	113
5-9	普通粘土砖的抗折强度试验	113
5-10	其它砖的抗折强度试验	115
5-11	混凝土抗折强度试验	117
5-12	木材的抗弯强度试验	119
5-13	石棉水泥板的抗弯强度试验	120
第六章	材料其它性能试验	122
6-1	材料的基本物理性质	122
6-2	材料与水有关的性质	124
6-3	材料与热有关的性质	127
6-4	普通混凝土的抗渗性试验	131
6-5	混凝土的抗冻性试验	133
6-6	混凝土的导热系数试验	139
第七章	非破坏性试验	143
7-1	非破坏性试验的方法与原理简介	143

7-2	表面硬度法	157
7-3	谐振法测定混凝土的动力弹性模量	151
7-4	超声波脉冲法探测混凝土质量	158
第八章	误差及数理统计	160
8-1	概 述	160
8-2	观测值、真值和误差	160
8-3	误差的分类	161
8-4	绝对误差和相对误差	163
8-5	精确度和有效数字	164
8-6	平均值、均方差、离散系数	167
8-7	正态分布	170
8-8	正交设计	176

绪 论

建筑材料试验方法与原理和工程建筑及科学研究有着密切的联系。主检验材料质量、确定结构设计依据和改善材料性能等方面,都需要进行材料试验。因此,作为工程技术人员,为了能正确的评价材料质量;合理而经济地选择、使用材料;进行材料的试验研究工作,具备一定的建筑材料试验知识和技能是完全必要的。同时,为了适应我国社会主义现代化建设的需要,探索新材料,开展新材料的试验研究,控制产品质量,改善工艺条件等,都需要进行材料性能的测试。因此,掌握必要的建筑材料试验方法和原理,具有更重要的深远意义。

一、建筑材料试验的内容

按材料品种来分:

材料品种繁多,一般可以分为金属材料、无机非金属材料和有有机高分子材料三大类。具体的最常见的建筑材料有:粘土、砖瓦、石灰、石膏、水泥、混凝土、砂浆、建筑钢材、木材、沥青、保温隔热材料等。对不同的材料或相同材料不同用途的就有不同的性能要求,因此,对每一种材料的试验要求、试件规格、试验内容和方法,均不完全相同的。如对普通混凝土以抗压强度作为它的主要指标,所以常以抗压试验为主要内容,混凝土的标号,是以一定试件尺寸、制作方法、养护条件和龄期的试件抗压强度来划分的。建筑钢材,如钢筋则以抗拉强度作为它的主要指标,所以按规定试件长度、试验方法测定其有关抗拉强度指标来划分其等级。沥青是按针入度作为它的主要指标,所以要求在一定条件下制作试样,并按规定方法测定其针入度的大小来评定其等级。这些试验,国家制订了标准,按标准规定进行试验,评定等级。但某些建筑材料,如保温隔热材料品种很多,其隔热性能的主要指标是导热系数,而国家还没有建立统一的标准,特别是一些新型建筑材料,如石膏板、石棉水泥板、纤维增强混凝土等,或某些特殊要求的材料,

就没有统一的试验方法及标准，尤待今后逐步建立和完善。前面一种属于标准试验，后面一种属于研究性试验。

按材料性能来分：

物理的：比重、容量、孔（空）隙率、含水率、外观结构等；

化学的：化学组成、酸性、硷性、抗腐蚀风化等；

物理化学的：吸水性、防水性、收缩和膨胀等；

力学的：拉伸、压缩、剪切和弯曲强度、韧性、弹性、塑性、脆性、冲击和疲劳等；

热学的：热膨胀、热传导；

声学的：声传导、声反射；

光学的：光传导、光反射。

而一般材料试验室的主要试验工作是力学性能，因为强度是材料最重要的功能，任何工程材料首先需要的是足够的强度。当然强度可以包括抵抗断裂破坏和过度变形两个方面。

按每个试验内容又可分为：

样品的选取，使之具有代表性；

试件的制备和测试；

试验数据的整理和报告；

试验材料质量，划分等级标号。

二、本课程的内容及要求

本课程的内容：最常用的材料试验机和应变仪的工作原理和操作方法；力学性能试验、物理性能试验、其它性能试验（包括抗渗、抗冻、保温等），非破坏试验和误差及数理统计等。这些内容不是针对某一种具体材料，具体试验方法进行编排的，以学习一般建筑材料试验原理为主，以加强基本试验技能训练为目的，相应的编入了一些具体材料的试验内容。

建筑材料随着社会生产力和科学技术的发展，在性能上不断的得到改善，品种上日益增多，用途上不断的扩大，也就扩大了材料试验的范畴和获得了测试技术上的进步。但是一些有效可靠的试验基本原理，是所有材料共有的。因此，用普通建筑材料的一般试验方法来讨论这些基本原理，是本课程内容编

排的发点。

通过本课程学习，要求：(1) 掌握一定的试验技术，包括常用试验机及有关仪器的操作技术，(2) 懂得试验仪器和试验方法的物理和力学的基本原理，(3) 对试验结果进行合理和分析。

第一章 材料试验机

在建筑材料试验技术中，广泛采用的是测定材料力学性能的试验机。这些试验机按其用途、使用范围、工作原理和结构特征而有所区别。最常用的试验机有压力试验机和全能试验机两类。

1-1 压力试验机

压力试验机是建筑材料试验机中最基本的一种设备。其极限荷载一般以几吨、几十吨、几百吨到上千吨。压力试验机的构造原理可分为三个系统，即加荷系统、测力系统和试件装置系统。这三个系统是由机四支架联系起来的。其加荷系统是利用手摇油泵或电动机带动油泵将油打入工作油缸产生油压，使活塞上升而产生荷重。测力系统常见的有螺旋状弹簧测力计和摆锤式测力机构。试件装置系统比较简单，主要有上、下承压板组成。为使承压板与试件表面紧贴，因此一般都带有球面座。

油压弹簧式压力试验机工作原理如图1-1所示。其测力系统是有螺旋状弹簧、测力油缸和刻度盘等组成的。当试件受压时，工作油缸的油压传至弹簧测力计小油缸，在相应油压作用下，使小活塞下降带动弹簧变形，其变形值与油缸油压成正比。并且通过钢皮带或绳索带动刻度盘上的指针，得到荷重读数。弹簧测力计在同一试验机上，一般具有二种规格可以更换的弹簧，因此装有二个荷重读数刻度盘。

油压摆锤式压力试验机工作原理如图1-2所示。多数试验机的测力机构是采用油压平衡摆锤式，有测力油缸、摆锤、齿条和刻度盘等组成。当试件受压时，同样靠工作油缸的油压传至测力小油缸，以相应油压使小活塞下降带动摆锤偏转，平移齿条，使装有指针的齿轮转动，得到荷重读数。摆锤重量（或摆的长度）是可以调节的，一般具有三个摆锤，相应的有三个荷重读数刻度盘。

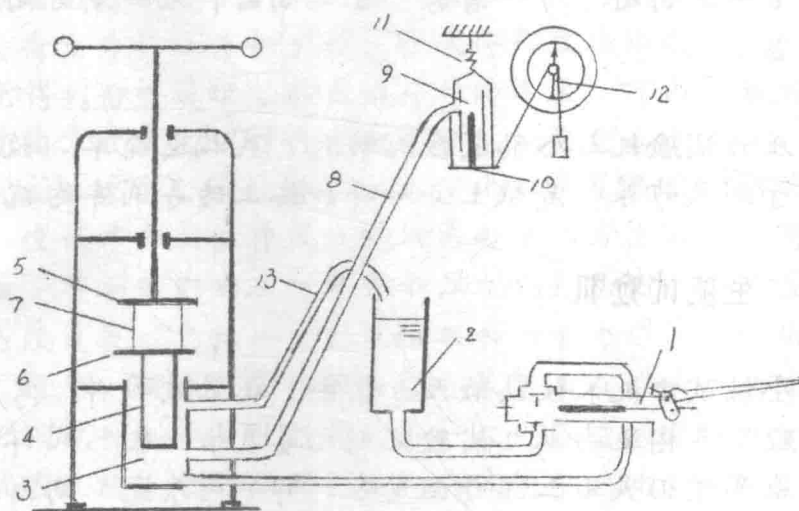


图 1-1 油压弹簧式压力试验机工作原理示意图

油压加荷系统：1—油泵活塞；2—油罐；3—压力机油缸；
4—柱塞。

试件装置系统：5—上压板；6—下压板；7—试件。

测力系统：8—连通油管；9—测力油缸；10—油压；

11—弹簧；12—指针；13—安全回路。

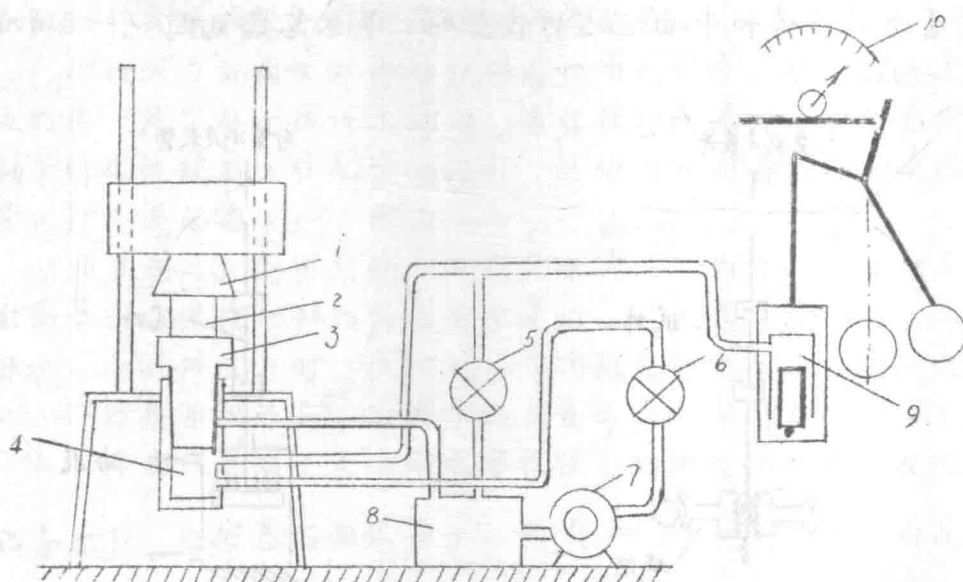


图 1-2 油压摆锤式压力试验机工作原理示意图

1—上压头；2—试件；3—下压头；4—油缸；5—回油

阀，6—进油阀；7—马达；8—油箱；9—测力油缸，10—刻度盘。

压力试验机与全能试验机相比，其构造简单，使用方便，常用于测定砂浆、混凝土、石料和粘土砖等试件的抗压强度。

1-2 全能试验机

全能试验机不仅能做压力试验，还能做拉伸、弯曲和剪切等试验。其构造与压力试验机相比要复杂一些，式样也多，但其构造原理仍是由三部分组成的，即加荷系统、测力系统和试件装置系统。此外，许多试验机还有自动记录试验图表的辅助装置。

从外观上按试件轴线放置的方向可以分为立式的和卧式的试验机，绝大部分是立式的，即试件的轴线成垂直放置的。也有按试件轴线作水平放置的卧式试验机，这种试验机吨位较大，装置试件较为方便，主要用于拉伸试验，但试验机很笨重，试件位置不易对正，或因自重发生挠曲等影响试验结果的正确性。

根据对试件进行加荷装置的不同，全能试验机可以分为机械传动装置的和带油压传动装置的。其示意图见图1-3和图1-4。

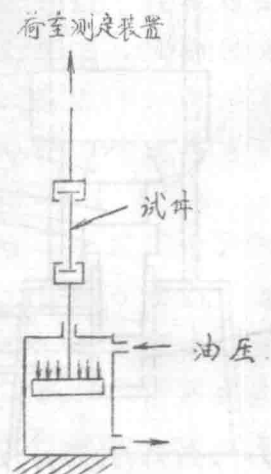
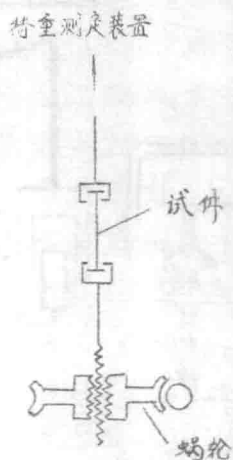


图1-3 机械传动装置示意图 图1-4 油压传动装置示意图

机械传动式试验机，是利用螺旋和齿轮传动机构，带动装有框架的荷重缘杆上升和下降，使试件产生拉伸或压缩，通过测力系统得到荷重读数。荷重缘杆升降速度，可由摩擦传动装置或变速箱来改变。这种形式的试验机，荷重吨位较小。

油压式试验机，是以移动和工作油缸活塞坚固的活动夹具的方法，使试件产生拉伸或压缩（弯曲），通过测力系统得到荷重读数。其加荷的油压系统是和压力机类似的，而装置试件的系统比较复杂，包括一个固定框架和一个由活塞上升而被顶升的活动框架。两框架连接的内部可装置压力试件和弯曲试件，而在活动框架外侧和固定框架的另一边可装置拉力试件。这种形式的试验机较为普遍，特别是大吨位的多用油压机式。油压式全能试验机工作原理如图1—5所示。

全能试验机的测力系统有带荷重的水平杠杆式、摆锤测力机构和波氏管测力计等。

带荷重的水平杠杆测力系统，是根据秤的度盘原理，作用主短杠杆的荷载，用重量不变的秤砣，或称游码，在主长杠杆上移动，使杠杆处于平衡状态，长杠杆上有分隔的刻度，秤砣所处的位置即荷重读数。其原理如图1—6所示。也可以用组合的多级杠杆系来减轻杠杆上移动的游码重量。

摆锤测力机构又可分为杠杆式和油压式的。杠杆摆锤式测力机构，是作用于试件上的力，通过杠杆系统，使自由悬挂于轴上的摆锤倾斜，引起齿条移动，转动指针而得出荷重读数。其工作原理如图1—7所示。

油压摆锤式测力系统，是作用于试件上的力，通过油压使自由悬挂的摆锤倾斜而得出荷重读数。其工作原理如图1—8所示。当试件受力时，试验机工作油缸内的油压达到某一数值 p ，如活塞面积为 F ，则试件抵抗变形的反作用力： $P = pF$ 。

工作油缸的油压是与横截面积较小的测力油缸的油压相等，也等于 p ，小活塞的面积为 f ，则 $P_c = pf = p \frac{f}{F}$ 。将此力传到与摆锤铰链着的拉杆上，这时摆锤倾斜角度为 α ，摆锤的倾斜引起齿条平移，齿条转动小齿轮，从而转动了刻度盘上的

卷压作一... 数集... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

... 有... 有... 有...

1—测力油缸活塞；2—摆锤；3—刻度盘；4—安全油路；5—回油阀；6—进油阀；7—油箱；8—马达；9—弓达；9—活动框架；10—加荷活塞；11—压力试样；12—拉力试样

图 1—5 油压式全液试验机工作原理示意图

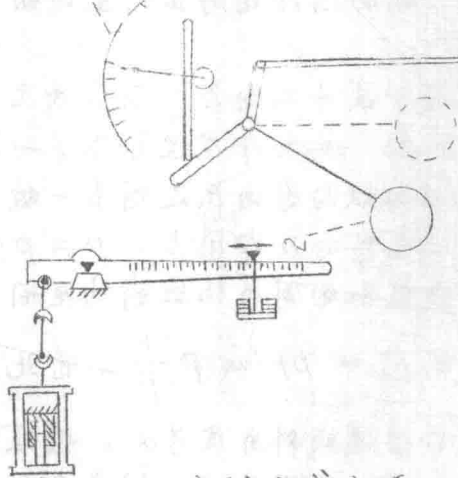


图 1—6 水平杠杆式测力系统示意图

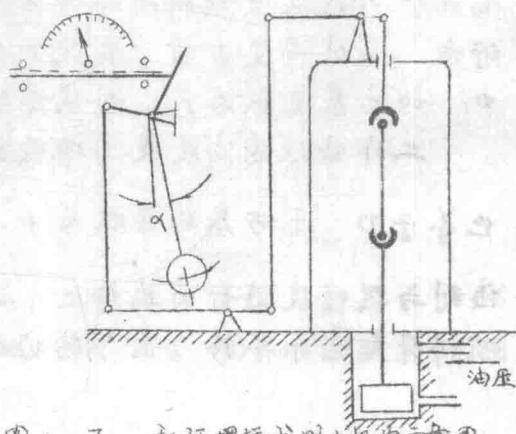


图 1—7 杠杆摆锤式测力机构示意图

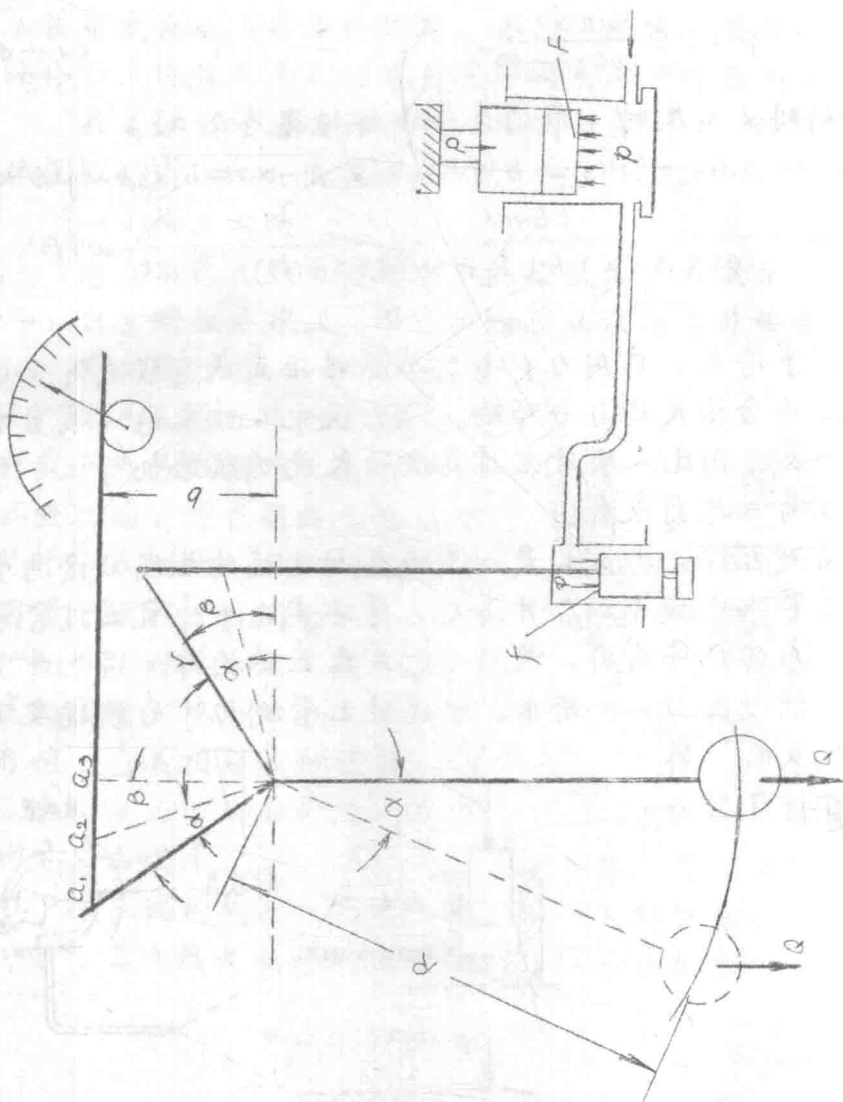


图 1—3 液压摆锤式测力系统工作原理示意图

指针。得出作用力、摆锤与刻度盘读数之间的关系：

$$QR \sin \alpha = p r \cos (\beta - \alpha) \quad (1-1)$$

$$QR \sin \alpha = p \frac{f}{F} r \cos (\beta - \alpha) \quad (1-2)$$

$$p = \frac{FQR \sin \alpha}{r f \cos (\beta - \alpha)} \quad (1-3)$$

式中：F、Q、R、r、f 对某一试验机均为定值。

设 $\frac{FQR}{rf} = C$ (常数)

$$\text{则} \quad p = c \frac{\sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)} \quad (1-4)$$

当摆锤倾斜到 α 角度时，带动齿条移动距离为 a_1, a_2 。

$$a_1, a_2 = a_1 a_3 - a_2 a_3 = b \tan \beta - b \tan(\beta - \alpha) = b(\tan \beta - \tan(\beta - \alpha))$$

$$\text{则} \quad \frac{p}{a_1, a_2} = \frac{c \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha) b(\tan \beta - \tan(\beta - \alpha))} = \frac{c}{b} \cos \beta \quad (1-5)$$

从公式中得出，作用力 p 与齿条平移距离成直线关系，因此刻度盘上的分格是均匀分布的。当 C 值中 Q 改变时，度盘刻度可随之改变。因此一般油压摆式测力系统的试验机有三个摆锤重量、就有三种刻度盘。

波氏管测力计，基本上是一个具有封闭端的曲线状金属管做成的，当管子中液体压力升高时，管子趋向于伸直通过管末端的伸直，带动机件转动，旋转了刻度盘上的指针，得到荷重读数。其原理如图 1-9 所示。普通波士管测力计的精确度，往往受温度变化、弹性运动和部件摩擦等因素的影响。

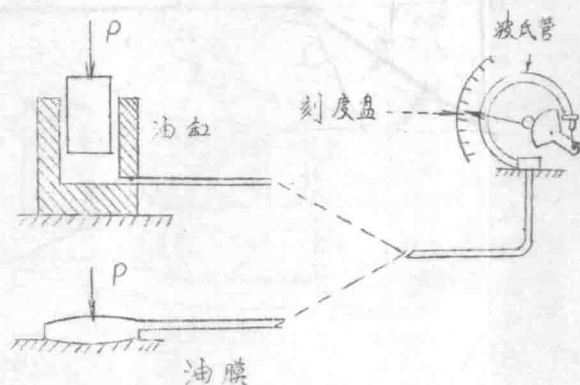


图 1-9 波氏管油压表式测力示意图

1-3 试验机的校正

试验机的精确度，直接影响试验结果的正确性。试验机的精确度愈高，也就是说试验机刻度盘上的荷载读数与材料在试验机上承受的实际荷载之间的误差愈小。国家规定了各级试验机具有一定的允许误差，如果试验机的误差超过允许范围，就

不能继续使用，应进行检修。因此，试验机要定期进行校正。经检修、改装后应立即检验其准确度是否符合要求。

校正方法可分四种：一、校正四法；二、标准重锤法；三、标准杠杆法；四、比较法。

一、校正四法

即应用校正设备对试验机进行校正。校正设备可做压力校正，也可做拉力校正。最常用的校正设备有弹性圈和校正箱。

弹性圈如图 1-10 所示，是根据其在弹性变形范围内，荷载和变形成直线关系来校正试验机的。弹性圈的变形可通过百分表测出，校正时将弹性圈置于需校正的试验机上，开动机四，对弹性圈进行加荷，使之变形，从百分表上读出变形值，查其相对应的荷载，和试验机测力四所示荷重比较，就可得出误差。

校正箱的构造如图 1-11 所示，其变形是由螺旋测微四

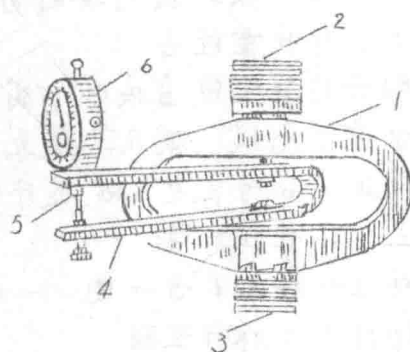


图 1-10 弹性圈

- 1—弹性圈；2—上螺旋头；
3—下螺旋头；4—悬杆；
5—百分表座；6—百分表

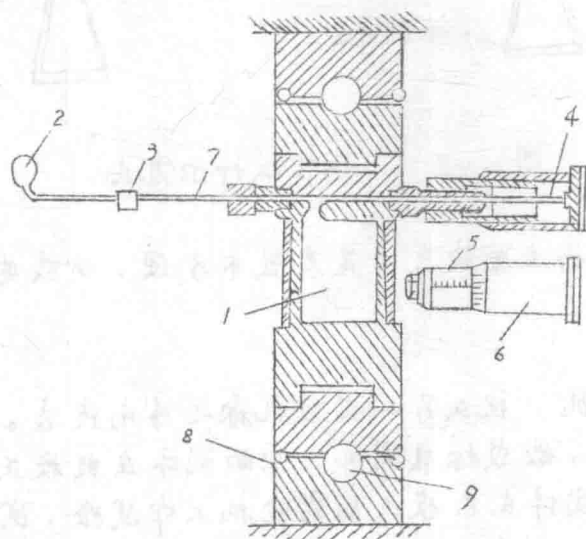


图 1-11 校正箱

- 1—水银；2—玻璃泡；3—指标环；
4—活底杆；5—固定刻度；6—螺旋测微杆；7—玻璃管；
8—橡皮圈；9—钢球。

测出箱内体积变化来表示。校正箱的主要部分是一盛满水银的空心圆筒，圆筒之一边通一小玻璃管，筒之他端，有一带有螺旋活塞的空心杆，螺旋上带有测微口，当圆筒受压时缩短，容量减少，溢出之水银流入玻璃管，旋动螺旋活塞，使水银回到圆筒的标点，从测微口上读出加压前后的体积之差，该体积与加荷成正比，根据体积和荷载关系查得相应的荷载，与试验机测力口刻度盘所示荷重读数相比较，就可得出误差。

弹性图和校正箱需要用高一级的校正设备进行定期的校正。

二、标准重锤法

即将标准重锤直接加于试验机承压板上，与试验机刻度盘上所示荷重比较，测定其误差。这种方法只适用于小吨位的试验机校正，如荷重至 500 公斤以下的可以用。

三、标准杠杆法

标准杠杆之装置如图 1—12 所示。试验机所受之荷重，等于杠杆秤盘上标准重锤乘杠杆比。任何杠杆系统的杠杆比，是用荷载试验决定的，而不是用仪口直接测得而得。校正时，将两个标准杠杆相对置于试验机的基板上，使所加之重锤用试验机上压头加压使之平衡，读试验机刻度盘上所示荷重，测得其误差。

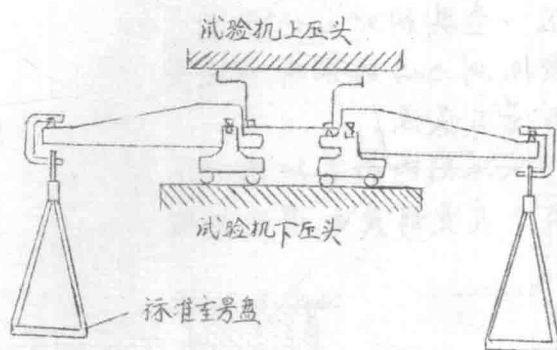


图 1—12 标准杠杆示意图

标准重锤法和杠杆法的主要缺点，是装置不方便，荷载范围小，故一般不采用了。

四、比较法

即用一已校正的试验机，校正另一试验机称之为比较法。取一软钢试件，分作八段，做成标准试件，单数试件在已校正的试验机上做试验，双数试件在另一试验机上做试验，试验时只求试件之最大拉力。将单数试件之平均拉力，作为试验

机的荷重读数，与双组试件之平均拉力相比较，即为试验机的误差。要求任何试件的拉力与本组平均拉力相比较，误差小于1%，超过1%时该组数值作废。这种方法主要取决于被试材料的匀质性，否则无法比较。

图 1-1 示于图 1-1

