

# 土力学试验

## 土工试验 Soil experiments

- 1 土的密度试验
- 2 土的含水量试验
- 3 土的液塑限试验
- 4 土的固结试验
- 5 土的直剪试验
- 6 土的三轴剪切试验

# 1 土的密度试验 density test

## 目的

测定土在天然状态下单位体积的质量

## 仪器设备

- ①符合规定要求的环刀；
- ②精度为0.01g的天平；
- ③其他：切土刀，凡士林等。



## 操作步骤

- (1) 测出环刀的容积 $V$ ，在天平上称环刀质量 $m_1$ 。
- (2) 取直径和高度略大于环刀的原状土样或制备土样。
- (3) 环刀取土：在环刀内壁涂一薄层凡士林，将环刀刃口向下放在土样上，随即将环刀垂直下压，边压边削，直至土样上端伸出环刀为止。将环刀两端余土削去修平（严禁在土面上反复涂抹），然后擦净环刀外壁。
- (4) 将取好土样的环刀放在天平上称量，记下环刀与湿土的总质量 $m_2$

## 计算土的密度

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

## 要求

- ①密度试验应进行2次平行测定，两次测定的差值不得大于0.03g/cm<sup>3</sup>，取两次试验结果的算术平均值；
- ②密度计算准确至0.01 g/cm<sup>3</sup>

## 2 土的含水量试验

### 目的

用烘干法测定土的含水率

### 仪器设备

- ①烘箱：采用电热烘箱；
- ②天平：称量200g,分度值0.01g；
- ③其他：干燥器，称量盒。

## 操作步骤

(1) 取代表性试样，粘性土为15—30g，砂性土、有机质土为50g，放入质量为 $m_0$ 的称量盒内，立即盖上盒盖，称湿土加盒总质量 $m_1$ ，精确至0.01g。

(2) 打开盒盖，将试样和盒放入烘箱，在温度105—110℃的恒温下烘干。烘干时间与土的类别及取土数量有关。粘性土不得少于8小时；砂类土不得少于6小时；对含有机质超过10%的土，应将温度控制在65—70℃的恒温下烘至恒量。

(3) 将烘干后的试样和盒取出，盖好盒盖放入干燥器内冷却至室温，称干土加盒质量 $m_2$ 为，精确至0.01g。

## 计算土的含水量

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100\%$$

## 要求

- (1) 计算准确至0.1%；
- (2) 本试验需进行2次平行测定，取其算术平均值，允许平行差值应符合下表规定。

含水率 (%)	小于10	10—40	大于40
允许平行差值 (%)	0.5	1.0	2.0



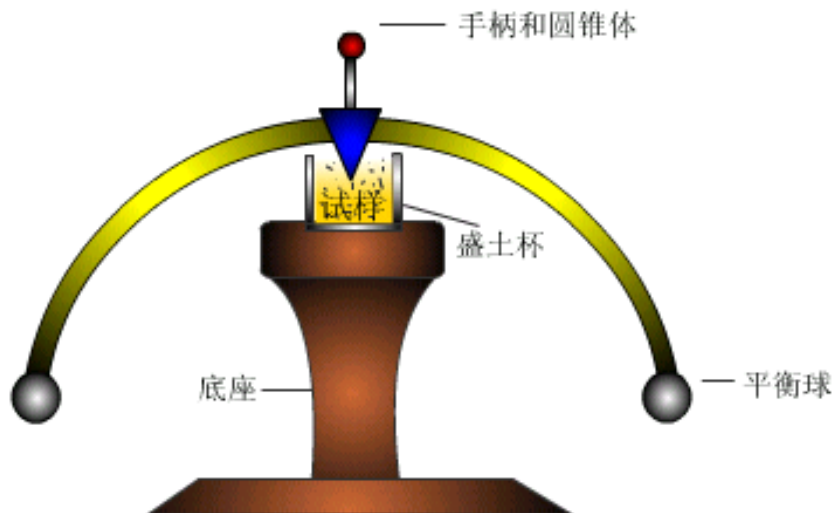
## 3 土的液限、塑限试验

### 目的

测定细粒土的液限、塑限，计算塑性指数、给土分类定名，共设计、施工使用。

### 仪器设备

- ①液塑限联合测定仪：圆锥仪、读数显示；
- ②试样杯：直径40—50mm，高30—40mm；
- ③天平：称量200g，分度值0.01g；④其他：烘箱、干燥器、铝盒、调土刀、孔径0.5mm的筛、凡士林等。



15秒钟内下沉10mm时土样相应的含水量为液限

液限锥式仪





液塑限联合测定仪

## 操作步骤

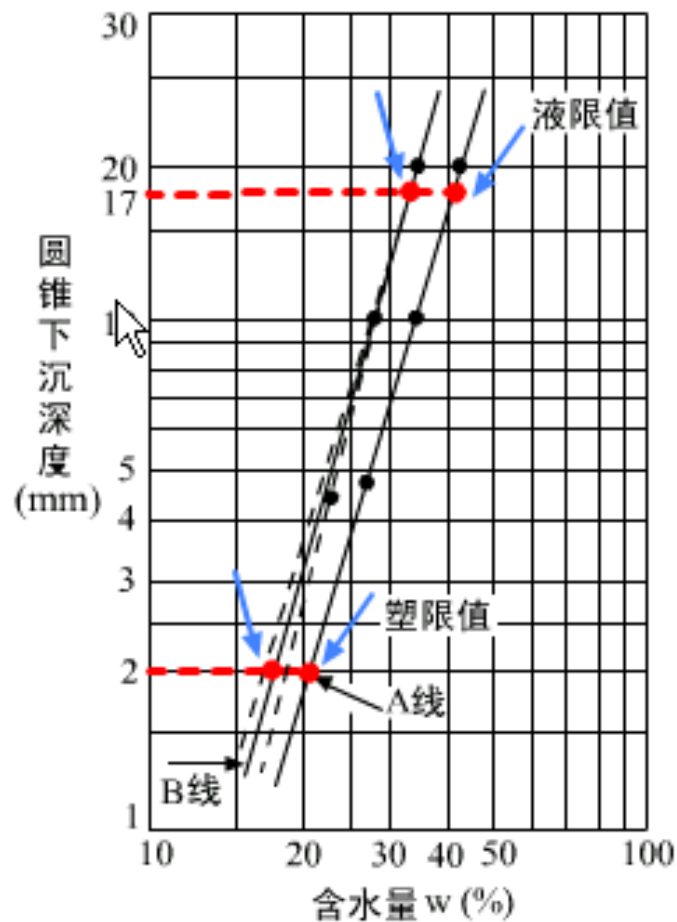
- (1) 当采用天然含水量的土样时，应剔除大于0.5mm的颗粒，然后分别按接近液限、塑限和二者之间状态制备不同稠度的土膏，静置湿润。静置时间可视原含水量的大小而定。当采用风干土样时，取过0.5mm筛的代表性土样约200g，分成3份，分别放入3个盛土皿中，加入不同数量的纯水，使分别接近液限、塑限和二者中间状态的含水量，调成均匀土膏，然后放入密封的保湿缸中，静置24小时。
- (2) 将制备好的土膏用调土刀调拌均匀，密实地填入试样杯中，应使空气逸出。高出试样杯的余土用刮土刀刮平，随即将试样杯放在仪器底座上。
- (3) 取圆锥仪，在锥体上涂以薄层凡士林，接通电源，使电磁铁吸稳圆锥仪。
- (4) 调节屏幕准线，使初读数为零。调节升降座，使圆锥仪锥角接触试样面，指示灯亮时圆锥在自重下沉入试样内，经5秒后立即测读圆锥下沉深度。
- (5) 取下试样杯，然后从杯中取10g以上的试样2个，测定含水率。
- (6) 按(2) - (5)的步骤，测试其余2个试样的圆锥下沉深度和含水率。

## 计算与制图

(1) 计算含水量

$$w = \left( \frac{m}{m_s} - 1 \right) * 100\%$$

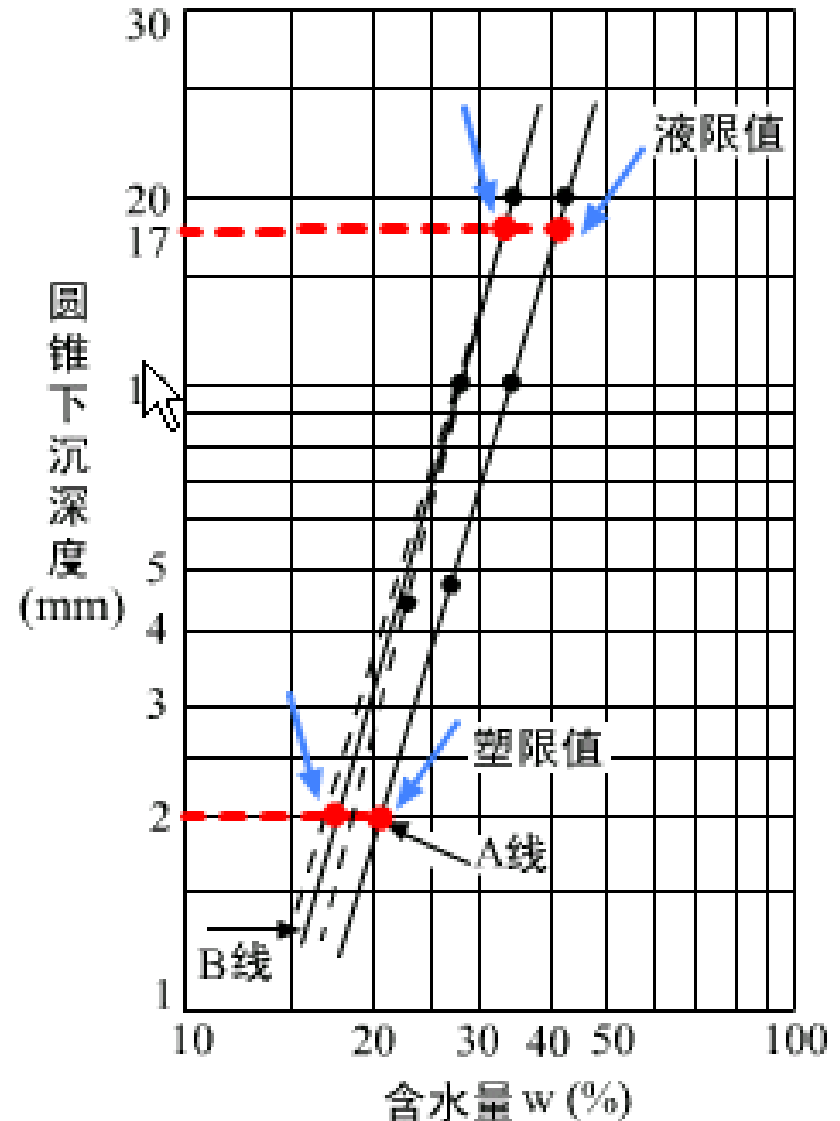
(2) 绘制圆锥下沉深度h与含水量w的关系曲线



①三点连一条直线。

②当三点不在一直线上，通过高含水量的一点分别与其余两点连成两条直线，在圆锥下沉深度为2mm处查得相应的含水量，当两个含水量的差值小于2%，应以该两点含水量的平均值与高含水量的点连成一线。

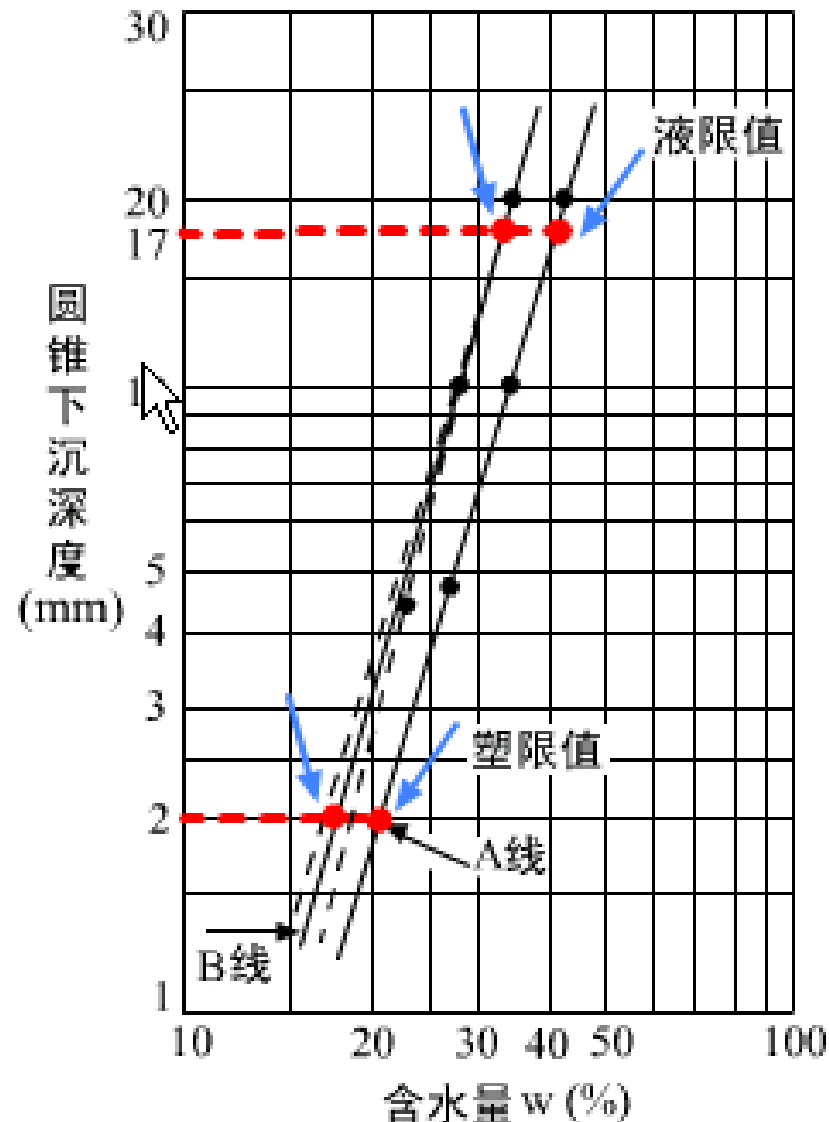
③当两个含水量的差值大于或等于2%时，应补做试验。



## (3) 确定液限、塑限

在圆锥下沉深度 $h$ 与含水量 $w$ 关系图上，查得下沉深度为**17mm**所对应的含水量为液限 $w_L$ ；

查得下沉深度为**2mm**所对应的含水量为塑限 $w_p$ ，以百分数表示，取整数。



## (4) 计算塑性指数和液性指数

塑性指数:

$$I_P = w_L - w_P$$

液性指数:

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P}$$



## 4 土的固结试验

### 目的

测定试样在侧限与轴向排水条件下的变形和压力的关系，变形和时间的关系，以便计算土的压缩系数、压缩指数、压缩模量、固结系数及原状土的先期固结压力等。

### 方法

快速固结法：规定试样在各级压力下的固结时间为1小时，仅在最后一级压力下除测记1小时的量表读数外，还应测读达压缩稳定时的量表读数。

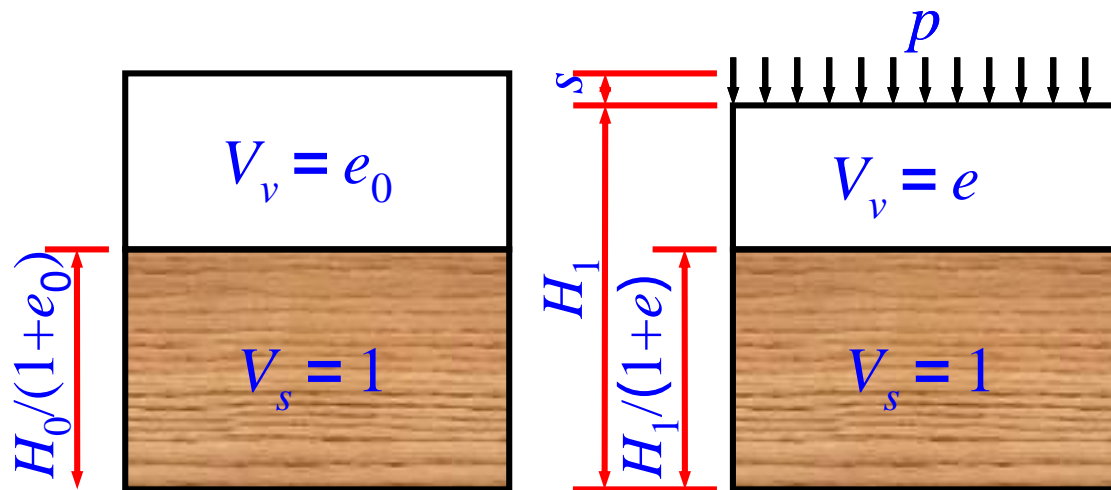
## 仪器设备

①三联固结仪；②刮土刀、天平、秒表等



**三联固结仪**

## 基本原理



土样在压缩前后变形量为  $s$ ，整个过程中土粒体积和底面积不变

土粒高度在受压前后不变

$$\frac{H_0}{1+e_0} = \frac{H_1}{1+e}$$

整理

$$e = e_0 - \frac{s}{H_0} (1+e_0)$$

其中

$$e_0 = \frac{G_s (1+w_0) \rho_w}{\rho_0} - 1$$

根据不同压力  $p$  作用下，达到稳定的孔隙比  $e$ ，绘制  $e-p$  曲线，为压缩曲线

## 操作步骤

- (1) 按要求取原状样或制备扰动土样。
- (2) 取环刀样，测试验前的密度与含水量。
- (3) 在固结仪底的透水石上放一滤纸，将环刀和土样放入压缩仪，套上导环，在土样顶面放上滤纸，再加上透水石，继而放上传压板与钢球，最后将固结仪放在容器板上。
- (4) 安装测微表并调零
- (5) 加荷。按50、100、200、400 (kpa)四级荷重加荷，每级荷载历时10分钟，即每级荷重加上10分钟时，记测微表读数一次，然后加下一级荷载，依此类推，直到第四级荷载施加完毕为止。

## 注意事项

1. 首先装好试样，再安装量表。在装量表的过程中，小指针需调至整数位，大指针调至零，量表杆头要有一定的伸缩范围，固定在量表架上。
2. 加荷时，应按顺序加砝码；试验中不要震动实验台，以免指针产生移动。

## 成果整理

(1) 按下式计算土的初始孔隙比

$$e_0 = \frac{G_s(1+w_0)\rho_w}{\rho_0} - 1$$

2. 计算试样的颗粒（骨架）净高 $h_s$

$$h_s = \frac{h_0}{1+e_0}$$

式中： $h_0$  — 试样初始高度（mm）

3. 计算某级压力下变形稳定后的孔隙比 $e_i$

$$e_i = e_0 - \frac{\sum \Delta h_i}{h_s}$$

式中:  $\sum \Delta H_i$  — 某级压力下试样高度的累计变形量, mm;

4. 计算某级压力下的压缩系数 $a_{1-2}$ 和压缩模量 $E_s$

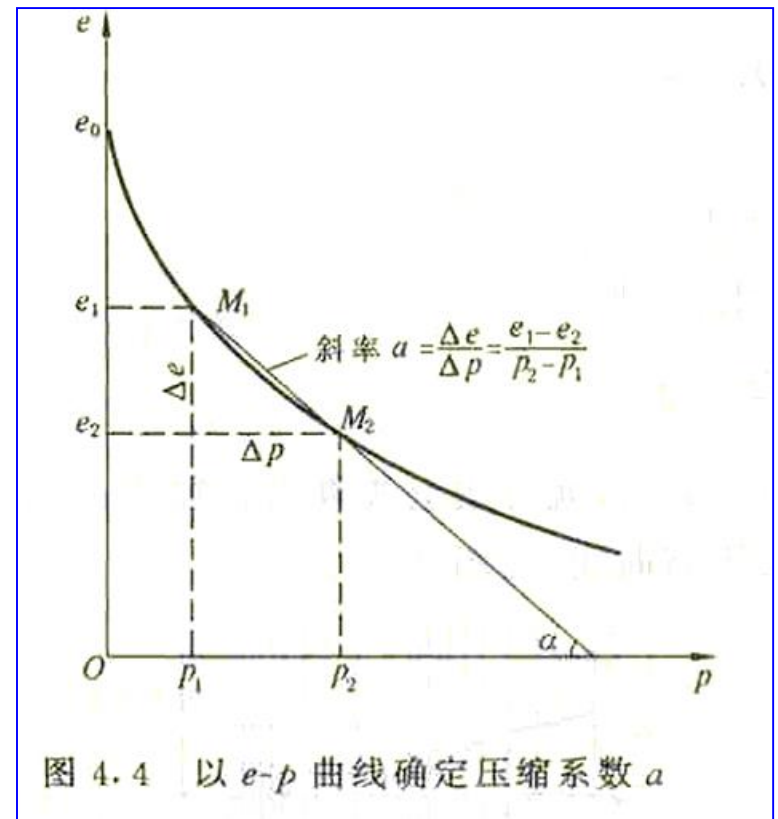
$$a_{1-2} = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (\text{MPa}^{-1})$$

$$E_s = \frac{1 + e_i}{a_{1-2}} \quad (\text{MPa})$$

式中  $p_i$  — 某一级荷重值, MPa。

## 5. 作孔隙比 $e$ 和压力 $p$ 的关系曲线

以孔隙比 $e$ 为纵坐标，压力 $p$ 为横坐标，绘制孔隙比与压力的关系曲线。





## 目的

## 5 土的直剪试验

直接剪切试验是测定土的抗剪强度的一种常用方法。通常采用4个试样，分别在不同的垂直压力 $p$ 下，施加水平剪切力进行剪切，测得剪切破坏时的剪应力 $\tau$ 。然后根据库仑定律确定土的抗剪强度指标：内摩擦角 $\phi$ 和粘聚力 $c$ 。

## 方法

**快剪：**在试样上施加垂直压力后立即快速施加水平剪应力。

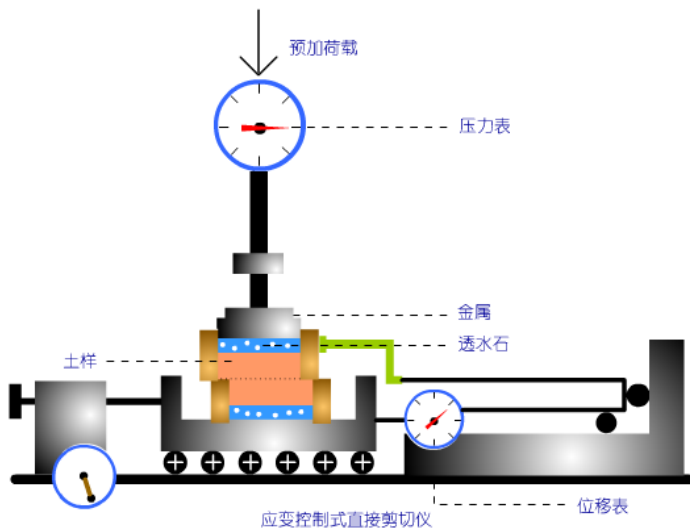
**固结快剪：**在试样上施加垂直压力，待试样排水固结稳定后，快速施加水平剪应力。

**慢剪：**在试样上施加垂直压力及水平剪应力的过程中，均使试样排水固结。

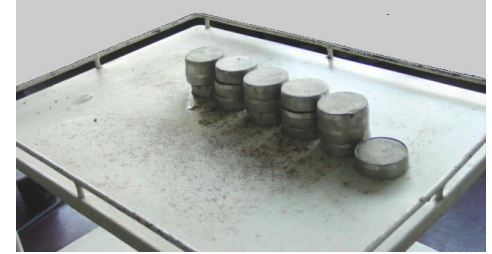
## 固结快剪试验

### 仪器设备

- (1) 应变控制式直剪仪：剪切盒、垂直加压框架、测力计、推动机构等；
- (2) 位移计（百分表）：量程5~10mm,分度值0.01mm；
- (3) 天平、环刀、削土刀、饱和器、秒表、滤纸、直尺等。



## 操作步骤



- 1.切取试样:** 按工程需要用环刀切取一组试样，至少四个，并测定试样的密度及含水率。
- 2.安装试样:** 对准上下盒，插入固定销钉。在下盒内放入一透水石，上覆隔水蜡纸一张。将装有试样的环刀平口向下，对准剪切盒，试样上放隔水蜡纸一张，再放上透水石，将试样徐徐推入剪切盒内，移去环刀。
- 3.施加垂直压力:** 转动手轮，使上盒前端钢珠刚好与测力计接触，调整测力计中的量表读数为零。顺次加上盖板、钢珠压力框架。每组四个试样，分别在四种不同的垂直压力下进行剪切。在教学上，可取四个垂直压力分别为100、200、400kPa。

- 4. 进行剪切：**施加垂直压力后，立即拔出固定销钉，开动秒表，以每分钟4~6转的均匀速率旋转手轮（在教学中可采用每分钟6转）。使试样在3~5分钟内剪破。如测力计中的量表指针不再前进，或有显著后退，表示试样已经被剪破。但一般宜剪至剪切变形达4mm。若量表指针再继续增加，则剪切变形应达6mm为止。手轮每转一圈，同时测记测力计量表读数，直到试样剪破为止。（注：手轮每转一圈推进下盒0.2毫米）。
- 5. 拆卸试样：**剪切结束后，吸去剪切盒中的积水，倒转手轮，尽快移去垂直压力、框架、上盖板，取出试样。

## 注意事项

1. 先安装试样，再装量表。安装试样时要用透水石把土样从环刀推进剪切盒里，试验前量表中的大指针调至零。
2. 加荷时，不要摇晃砝码；剪切时要拔出销钉。

## 成果整理

1. 按下式计算各级垂直压力下所测的抗剪强度：

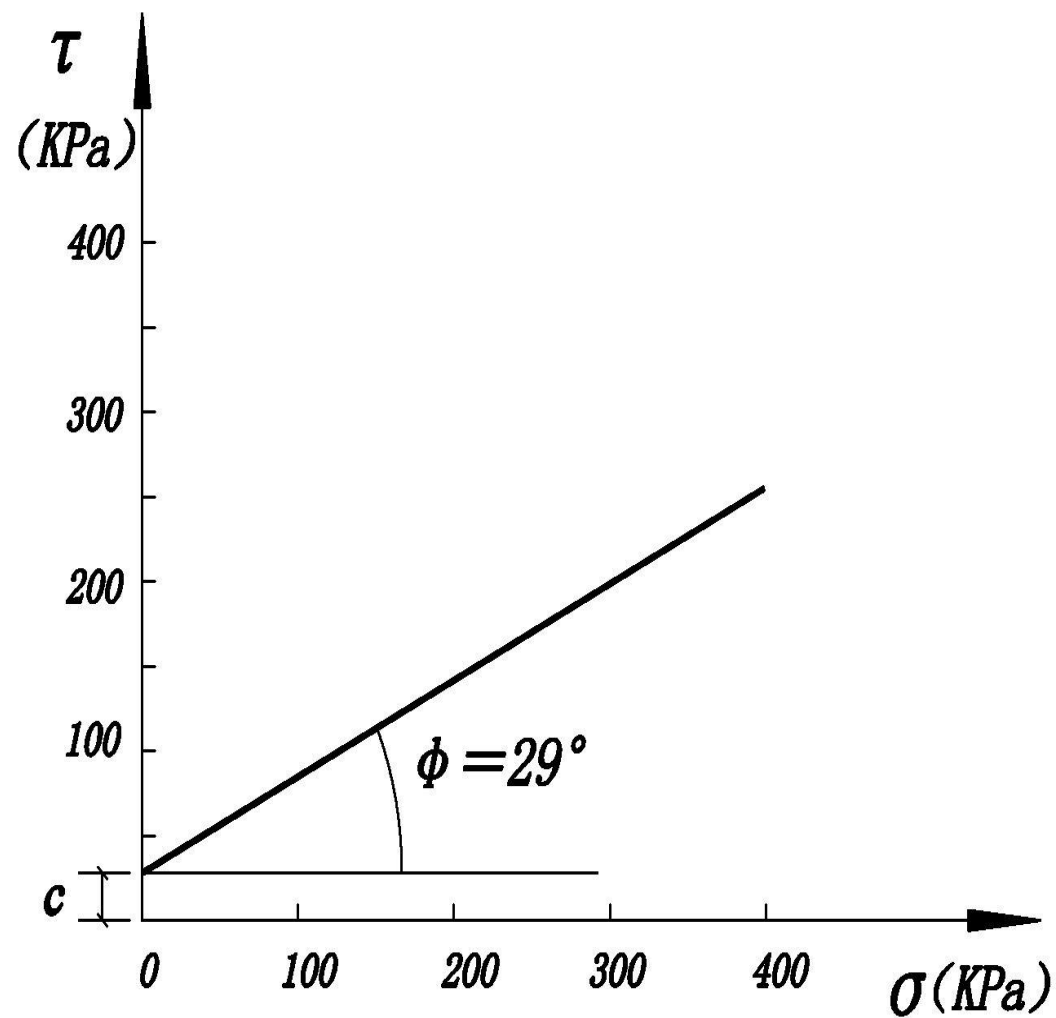
$$\tau_f = CR$$

式中： $\tau_f$ —土的抗剪强度，kPa；

$C$ —测力计率定系数，kPa/0.01mm；

$R$ —测力计量表最大读数，或位移4毫米时的读数(0.01毫米)，0.01mm。

## 2. 绘制 $\tau_f \sim \sigma$ 曲线



## 6 土的三轴剪切试验

### 目的

三轴剪切试验是在三向应力状态下，测定土的抗剪强度参数的一种剪切试验方法。通常用3~4个圆柱体试样，分别在不同的恒定围压下，施加轴向压力，进行剪切，直至破坏；然后根据极限应力圆包络线，求得抗剪强度参数。

### 方法

根据排水条件不同，三轴剪切试验分为不固结不排水试验（UU）、固结不排水剪切(CU)和固结排水试验（CD）。本试验只作固结不排水剪切试验。



## 仪器设备

1. 应变控制式三轴剪切仪，由周围压力系统、反压力系统、孔隙水压力量测系统和主机组成。
2. 附属设备：包括击实器、饱和器、切土器、分样器、切土盘、承膜筒和对开圆模。
3. 天平：称量200g，感量0.01g；称量1000g，感量0.1g。
4. 橡皮膜：应具有弹性，厚度应小于橡皮膜直径的1/100，不得有漏气孔。

## 操作步骤

### 1. 试样制备

### 2. 试样的安装

### 3. 剪切试样

## 1. 试样制备

(1) 本试验需要3~4个试样，分别在不同周围压力下进行试验。

(2) 试样尺寸：最小直径为 $\phi 35\text{mm}$ ，最大直径为 $\phi 101\text{mm}$ ，试样高度宜为试样直径的2~2.5倍。对于有裂缝、软弱面和构造面的试样，试样直径宜大于60mm。

(3) 原状试样制备，应将土切成圆柱形试样，试样两端应平整并垂直于试样轴，当试样侧面或端部有小石子或凹坑时，允许用削下的余土修整，试样切削时应避免扰动，并取余土测定试样的含水量。

(4) 扰动试样制备，应根据预定的干密度和含水量，在击实器内分层击实，粉质土宜3~5层，粘质土宜为5~8层，各层土料数量应相等，各层接触面应刨毛。

(5) 对制备好的试样，应量测其直径和高度。试样的平均直径应按下列式计算：

$$D_0 = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4}$$

(式中 $D_1$ ， $D_2$ ， $D_3$ 分别为试样上、中、下部位的直径)  
取余土，测定含水率。

## 2. 试样的安装

(1) 在压力室底座上依次放上不透水板、试样及试样帽，将橡皮膜套在试样外，并将橡皮膜两端与底座及试样帽分别扎紧。

(2) 装上压力室罩，向压力室内注满纯水，关排气阀，压力室内不应有残留气泡。并将活塞对准千分表和试样顶部。

(3) 关排水阀，开周围压力阀，施加周围压力，周围压力值应与工程实际荷重相适应，最大一级周围压力与最大实际荷重大致相等。

(4) 转动手轮使试样帽与活塞及千分表接触，装上变形指示计，将千分表和变形指示计读数调至零位。

## 3. 剪切试样

(1) 开动电机，接上离合器，剪切应变速率宜为每分钟应变 $0.5\sim 1.0\%$ 进行。

(2) 剪切开始阶段，试样每产生 $0.3\sim 0.4\%$ 的轴向应变，测记一次千分表读数和轴向应变值。当轴向应变大于 $3\%$ 以后，每隔 $0.7\sim 0.8\%$ 的应变值测记一次读数。

(3) 当千分表读数出现峰值时，剪切应继续进行，超过 $5\%$ 的轴向应变为止。若当千分表读数无峰值时，剪切应进行到轴向应变为 $15\sim 20\%$ 。

(4) 试验结束，关电动机，关周围压力阀，开排气阀，排除压力室内的水，拆除压力室外罩，取出试样，描述破坏特征，称试样质量，并测定含水率。

(5) 对其余个试样，在不同围压下重复上述步骤进行剪切试验。