

基础工程检测

实验  
指导  
书

宁波大学土木工程实验教学中心

2006 年 12 月

# 实验 1 土压力参数检测

## earth pressure parameter test

### 1.1 概述

为了了解土体内部的受力状况，分析土体内应力的变化对变形、渗流状况的影响，监测土工建筑物的安全，就需要进行土中土压力的检测。土压力采用土压力计观测，土压力计测得的土压力均为总应力，如需知土体内的有效应力，应在每一土压力测点附近埋设一支孔隙水压力计，测出土体的孔隙水压力。土中土压力计应布置在最大断面或地形变化大、地质条件变化复杂的断面。测点应布置在同一断面中受力变形较大或蓄水后受力变化较大的部位。土中土压力计埋设于同一种介质的土体内部，又称为埋入式或介质式土压力计。当它埋设于土体后，可能改变测点处土体的应力状态，从而使测值失真，因此土中土压力计应在满足刚度要求的前提下尽可能使受压膜的厚度减小。各种土中土压力计使用时均应根据测点及各个方向可能出现的土压力大小确定相应的量程。

土压力参数检测主要是测定岩土体预定深度或部位层面的土压力，即土压力有变化的部位或压力曲线变化处，用于监测界面土压力。

### 1.2 检测方法与检测适用范围

#### 1.2.1 检测方法

采用 TYJ 系列振弦式土压力计进行试验，并可同步测量埋设点的温度。

#### 1.2.2 检测适用范围

本试验方法适用于长期测量土石坝、防波堤、护岸、码头岸壁、高层建筑、管道基础、桥墩、挡土墙、隧道、地铁、机场、公路、铁路、防渗墙结构等建筑基础所受土体的压应力，是了解土体对土中构筑物压应力变化量的有效监测设备。

### 1.3 检测仪器与材料

1. TYJ 系列振弦式土压力计：可以采用 TYJ-20、TYJ-21、TYJ-25、TYJ-26 等；（见图 1-1）

2. 铲子：尺寸 130\*240mm，孔径 117mm；

3. ZXY-系列振弦频率读数仪：与振弦式土压力计配套使用；

#### 4. 其他：常用铲土工具、直尺等



图 1-1 土压力计和频率读数计

#### 1.4 检测方法与步骤

1. 在试验地点按预定位置挖土至要求深度，埋设土压力计时，应该注意尽量避免对工体的扰动，保证膜盒与土的良好接触，清除坑内残土，并作详细记录；

2. 埋设时，承受土压力计的土面须严格整平，特别要注意的是：回填的土料应与周围土料相同(去除石料)小心用人工分层夯实，否则，会引起土压力的重新分布。除膜盒的埋设外，电缆线的埋设也是至关重要的。否则，在施工中容易遭受破坏。各测头电缆按一定路线集中于观测站中，并将土压力计的编号、规格及埋设位置、时间等，记入考证。土压力计及其电缆上压实的填土超过 1m 以上，方可用重型辗压机施工；

3. 在安装就位土压力计的部位要求有一定的防地下水措施，在放土压力计的部位四周设置水泥或其他无腐蚀性的防水材料；

4. 土压力计水平埋设间距原则上为盒体间距的 3 倍以上( $\geq 0.6\text{m}$ )，垂直间距与水平间距同，土压力计的受压面须面对欲测量的土体；

5. 根据现场需要接长电缆时，应注意接头处的防水密封要可靠，然后回填土体并压实；

6. 接通电缆与频率计，测读数据，并记录。

#### 1.5 检测注意事项

1. 本仪器应在额定测量范围内工作；

2. 根据现场需要接长电缆时，应注意接头处的防水密封要可靠并且不能在芯线上有杂物；

3. 仪器未使用放置 12 个月以上时，使用前应重新进行标定。

#### 1.6 检测数据记录与分析

1. TYJ 型振弦式土压力计的测量用 ZXY-2 型或其它型号振弦频率读数仪完成。测量方法请参照相应读数仪的使用说明书。测量完成后，记录传感器的频率值(或频率模数值)、温度值、仪器编号、设计编号和测量时间。

2. TYJ 型振弦式土压力的计算公式

$$P = K\Delta F + b\Delta T + B$$

式中  $P$  - 被测土压力值 (MPa);

$K$  - 仪器标定系数 (Mpa/F);

$\Delta F$  - 土压力计实时测量频率模数值相对于基准值的变化量 (F);

$b$  - 土压力计的温度修正系数 (Mpa/°C);

$\Delta T$  - 土压力计的温度实时测量值相对于基准值的变化量 (°C);

$B$  - 土压力计的计算修正值 (MPa)。

注：频率模数  $F = f^2 \times 10^{-3}$

## 实验2 $K_0$ 静止侧压力系数检测

coefficient of earth pressure at rest  $k_0$  test

### 2.1 概述

静止侧压力系数 $k_0$ 试验就是测定土体在无侧向变形条件下,侧向有效应力 $\sigma_3'$ 与轴向有效应力 $\sigma_1'$ 之比,以此计算土的静止侧压力系数 $k_0$ 。

挡土墙在墙后填土的推力作用下,墙不产生任何位移和变形,即挡土墙绝对不动时,墙后土体由于墙背的侧限作用而处于弹性平衡状态。此时,作用于墙背上的土压力就是静止土压力。求解静止土压力,可用弹性理论的平面问题分析,假设土体为各向同性的弹性体,土层表面水平,墙背竖直、光滑,则墙后任一单元土体竖直方向为大主应力 $\sigma_1$ ,水平方向为小主应力 $\sigma_3$ ,根据广义虎克定律(Hooke's Law),得到静止压力大小为

$$p_0 = \sigma_3 = k_0 \sigma_1$$

式中  $k_0$  - 静止土压力系数,弹性状态下:  $k_0 = \frac{\mu}{1-\mu}$ ;

$\sigma_1$  - 土体自重产生的竖直方向应力, kPa,  $\sigma_1 = \gamma z$ ;

$\gamma$  - 土体容重,  $kN/m^3$ ;

$z$  - 自地表以下任意深度, m;

$\mu$  - 填土的泊松比,由实验确定。

由于土体不是理想的弹性体,因此,实测的静止侧压力系数与土的种类有关,而同一种土的 $k_0$ 还与土的孔隙比、含水量、加压条件、压缩程度等有关。在工程设计上,墙后填土为松砂时,可取 $k_0 = 0.34 \sim 0.45$ ; 密砂可取 $k_0 = 0.7$ ; 粘性土可取 $k_0 = 0.5 \sim 0.7$ 。对于正常固结粘土,有下述半经验公式:

$$k_0 = 1 - \sin \varphi'$$

式中  $\varphi'$  - 土体有效内摩擦角,度。

$k_0$ 的数值受应力历史的影响很大,在强超固结土中 $k_0$ 的值可能大于1,对于压实填

土也可能发生这种情况。

## 2.2 检测方法与检测适用范围

### 2.2.1 检测方法

$k_0$  固结仪、单联高压固结仪及孔隙水压力测定仪联动配合试验。

### 2.2.2 检测适用范围

本试验方法仅适用于饱和的粘质土和砂质土。

## 2.3 检测仪器与材料（见图 2-1）

1.  $k_0$  固结仪；
2. 单联或双联高压固结仪；
3. 孔隙水压力测定仪；
4. 切土环刀：内径 61.8mm，高度 40mm。
5. 其他：校正样块（内径 61.8mm，高度 100mm）、饱和器、推样器、硅脂等。



图 2-1  $k_0$  固结仪、高压固结仪、孔隙水压力测定仪

## 2.4 检测方法与步骤

### 1 粘质土试验

1.1 试样分原状土和扰动土两类。原状土试样制备可按 SL237-002-1999 规程 5.0.1 至 5.0.5 规定进行；扰动土试样制备按 SL237-002-1999 规程 4.2.1 至 4.2.2 规定进行。试样尺寸：直径为 61.8mm，高度为 40~60mm；

1.2 将带有环刀的试样装入框式饱和器内，按 SL237-002-1999 规程 6.3 的规程进行饱和，饱和度要求达到 95%以上；

1.3 将试样推出环刀，贴上滤纸条，套上橡皮膜并涂薄层硅脂，放入侧压仪容器内（安装试样前，打开进水阀，用调压筒抽出密闭受压室中的部分水，使试样与橡皮膜紧密接触，关进水阀）。放上透水板、护水圈、传压板、钢珠。将容器置于加压框架正

中，施加 1kPa 预压力。安装轴向位移计，并调至零位；

1. 4 打开接侧压力量测装置的阀，调平电测仪表。测记受压室中水压力为零时的压力传感器读数（若用三轴压缩仪的测压板测定受压室压力时，则调整零位指示器内水银面于指示线处，并测定压力表初读数）；

1. 5 施加轴向压力。压力等级一般按 25、50、100、200、400 kPa 施加。施加每级轴向压力后，随时调平电测仪表，按 0.5、1、4、9、16、25、36、49min、... 测记仪表读数和轴向变形（若用测压板测定受压室压力，则随时调节调压筒，使零位指示器内水银面保持初始位置，按上述时间间隔测定压力表读数），直至变形稳定为止。试样变形稳定标准为每小时变形不大于 0.01mm，再加下一级轴向压力。

1. 6 验结束后，关接侧压力装置阀，卸去轴向压力，拆除护水圈、传压板及透水板等。取出试样称量，并测定含水率。

## 2 砂质土试验

2. 1 根据要求的干密度和试样体积称取所需的风干砂样，准确至 0.1g；

2. 2 将砂样装入容器中，拂平表面，放上一块硬木块，用手轻轻敲打，使试样达到要求的干密度，然后取下硬木块。若采用饱和试样，则将干砂放入水中煮沸，冷却后填入容器；

2. 3 试样填好后，放上透水板、传压板，将容器置于加压框架正中，按 SL237-1999 规程 3.1.3 至 3.1.6 的规定进行。

## 2.5 检测注意事项

1. 仪器设备的检查及校正工作：轴向加压设备、压力传感器、切土环刀、侧压力仪等都应按国家标准规定方法校验；

2. 排除密闭受压室内和测压系统的气泡。其方法是打开排气孔阀，从进水孔注入纯水，当排气孔溢出水时，用手挤压受压室内的橡皮膜，使受压室中的水从排气阀冲出。如此反复数次，直至无气泡溢出时为止。排气完毕，关排气孔阀，拧紧进水孔螺丝；

3. 用校正样块代替试样，慢慢放入容器内，开排气孔阀使受压室多余的水从排气孔排出，使橡皮膜平整并紧贴校正样块。关排气阀，用侧压力量测系统逐级施加压力，直至压力达 500kPa。如压力表读数不下降，表示受压室和各管路系统不漏水。然后卸除压力，取出校正样块。

## 2.6 检测数据记录与处理

### 1. 按下式计算侧向压力:

$$\sigma_3' = C(R - R_0)$$

式中  $\sigma_3'$  - 密封受压室的水压力即侧向有效应力;

$C$  - 压力传感器比例常数,  $\text{kPa}/\mu\epsilon$  ( $\text{kPa}/\text{mV}$ ); 仪器经校正后, 其值可取  $c=1$ ;

$R_0$  - 侧向压力等于零时, 电测仪表的初读数 ( $\mu\epsilon = 10^{-6}$ ),  $\text{mV}$ ;

$R$  - 试样竖向变形稳定时电测仪表读数 ( $\mu\epsilon = 10^{-6}$ ),  $\text{mV}$ ;

2. 以有效轴向压力为横坐标, 有效侧向压力为纵坐标, 绘制  $\sigma_1' \sim \sigma_3'$  关系曲线, 其斜率为静止侧压力系数, 即  $k_0 = \sigma_3' / \sigma_1'$ 。

## 实验 3 孔隙水压力检测

### pore water pressure test

#### 3.1 概述

孔隙水压力检测就是测定岩土体预定深度或部位层面的孔隙（渗透）水压力，用于监测界面孔隙水压力。

饱和的岩土体是一个二相介质，包含土体颗粒和孔隙水两部分，当饱和土体受到外荷载作用时，将由土颗粒和孔隙水共同承担，其中由孔隙水来承担或传递的应力称为孔隙水应力，而由土颗粒接触面传递的应力为有效应力，由外荷载总体引起的应力为总应力。有效应力是引起土体压缩和强度的真正原因，它是通过总应力和孔隙水应力间接得到。

孔隙水应力  $\mu$  的大小等于该点的测压管水柱高度  $h_w$  与水的容重  $\gamma_w$  的乘积。即

$$\mu = \gamma_w \cdot h_w$$

有效应力定义为研究平面内所有颗粒间接触力的法向分力总和  $N_s$ ，除以所研究平面的总面积。即

$$\sigma' = \frac{N_s}{A}$$

因为  $\sigma = \sigma' + \mu$

则由上覆土体和水的总质量计算出总应力，由测压管水柱高度确定孔隙水压力，即可求出有效应力。

事实上，地下孔隙水压力较为复杂，静水条件下的孔隙水压力和有渗流作用条件下的孔隙水压力是不同的，而渗流引起岩土体的各种变化也是难以有精确的答案，因此，原位测定土体的孔隙水压力对工程勘察、设计、施工及其他作业都有着重要意义。

理想的孔隙水压力计应具备如下条件

1. 必须有足够的强度和耐久性，其要求与土压力计相同；
2. 要求测头处的孔隙水体积不改变或改变不大，亦即测量的延滞时间要短；
3. 读数稳定这对长期观测的仪器特别重要；
4. 测头体积要小，外形平整光滑，以便在压入埋设时尽可能地减少对土体的扰动

和原有应力的改变;

5. 测量方便,设备费用低廉。孔隙水压测试系统主要由孔隙水压力计和量测仪器两部分组成,孔隙水压力计包括传感器、环形透水石、锥头拉杆、电缆线和护管等;量测仪器为数字显示频率仪。

### 3.2 检测方法与检测适用范围

#### 3.2.1 检测方法

用 KYJ 系列振弦式孔隙水压力计法,它是一种供长期测量混凝土或地基内的孔隙(渗透)水压力,并可同步测量埋设点温度的数字式压力传感器。加装配套附件即可在测压管、地基钻孔中使用。

#### 3.2.2 检测适用范围

本试验方法适用于长期测量土石坝、防波堤、护岸、码头岸壁、高层建筑、管道基础、桥墩、挡土墙、隧道、地铁、机场、公路、铁路、防渗墙结构等建筑基础所受土体的孔隙水应力,是了解孔隙水对土中构筑物孔隙水应力变化量的有效监测设备。

### 3.3 检测仪器与材料(见图 3-1)

1. KYJ-31 系列振弦式孔隙水压力计: 0.2 ~ 0.4MPa
2. 铲子: 尺寸 130\*240mm, 孔径 117mm;
3. 其他: 常用铲土工具、直尺等



图 3-1 孔隙水压力计、频率读数计

### 3.4 试验方法与步骤

#### 1. 埋设前的准备工作

(1)对孔压计应进行试压检测,测定每一孔压计埋设前的基本参数,确保性能良好。检测方法是将孔压计放入三轴仪大压力室内,电缆线从压力室顶部排气孔内引出(加工一只止水螺丝),加无气洁净水入压力室内,然后逐级由围压系统加压,检查孔压计零点读数、率定系数;

- (2) 备足直径 2cm 左右干燥的黄泥球 ( $I_p > 17$ ), 供钻孔封孔用;
- (3) 加工埋设压具, 可用钻杆接头在其下端电焊两块长 8~10cm 宽 3cm 弧形钢条;
- (4) 根据孔压计埋设数量及位置图, 计算各测点电缆线长(等于埋置深度+各测点至观测房距离), 并编测点号, 记录各点编号与其对应的孔压计出厂号和电缆线长度, 最好将电缆线每 5~10 米编一测点号, 以防施工中截断电缆便于查找。

## 2. 安装

- (1) 孔压计上端安装一根  $\phi 41\text{mm}$  长 40cm 护管, 护管作用是在埋设时提拉孔压计, 保护一电缆使其与钻杆压具连接, 另外使孔压计能垂直压入土层中;
- (2) 护管内装入 25cm 过 5mm 筛干燥黄粘土粉末, 稍加捣实, 加入清水使之湿润, 上部再装入 5cm 湿水泥封口, 护管上部留出 10cm 空间便于插入压具;
- (3) 将环形透水石洗净, 煮沸排气, 沸腾后再煮 30~60 个分钟;
- (4) 将安装好护管的孔压计放入清水桶内, 取一塑料食品袋装满清水, 将煮沸过透水石在水中放入塑料袋内, 再将其放入清水桶内, 在水下顺次安装大橡皮垫圈、透水石、小橡皮垫圈、锥体, 拧紧各部件, 安装完毕后的孔压计仍浸没在水中;
- (5) 测定埋前初始读数;
- (6) 在护管上部两小孔中, 各接一根长度大于测点埋深的 18# 铅丝, 用于提拉孔压计用。

## 3. 埋设

- (1) 根据各测点位罩图, 在场地上放样, 对于砂井地基, 根据测点位置选择砂井中心定位, 不同深度的测点应保持相距约两倍的砂井间距, 防止相互影响;
- (2) 开孔钻探, 钻机开孔一般采用  $\phi 91\text{mm}$  或  $\phi 108\text{mm}$  钻头开孔, 孔深达测点以上 20~50cm 为止, 开孔过程中描述并记录土层变化情况;
- (3) 钻孔完成后, 将浸入清水中的孔压计连同装满清水的塑料袋迅速提出放入钻孔内, 当透水石浸入钻孔水中时, 撕破塑料袋;
- (4) 埋设孔压计, 钻杆接上压具, 用管钳夹住钻杆垂直平稳压入 20~50cm 到所需深度为止;
- (5) 检测孔压计埋设后性能, 小心提起钻杆(勿将孔压计带上), 稍等片刻, 用频率仪检查频率变化是否正常, 直到无异常情况为止, 如发现孔压计无读数显示, 这可能电缆被弄断, 可利用铅丝将孔压计拨起, 检查原因或另换孔压计重新埋设;
- (6) 详细记录该测点埋设情况及埋后频率值;

(7) 封孔是隔开孔隙水压力计与外界水源的有效方法, 要求泥球粒粒投入并不断摇动铅丝使泥球封至孔底, 不可成堆倒入;

#### 4. 电缆线的保护

(1) 各测点孔压计埋设完毕后, 理顺电缆线, 归拢成一束, 用编织布缠绕扎紧, 向观测房或者测点聚集井方向, 挖一深为 30cm 宽 20cm 的沟, 沟底铺垫 5~10cm 厚黄砂, 将归拢成一束的电缆呈波浪形摆好, 铺上 20cm 厚黄砂, 上面再回土填平, 如用测点聚集井而不用观测房, 则应用砖砌成窰井加盖加锁保护;

(2) 必要时在电缆沟旁作些标记, 以防施工时截断电缆线。

#### 5. 埋设地下水位管及地下水位孔压计

(1) 远离应力影响范围外, 埋设一地下水位孔压计, 埋设方法同孔压计方法一样, 孔深视该地区地下水位变化范围而定, 一般按地面以下 2~3m, 埋设完毕应测该点地面高程;

(2) 地下水位管采用  $\phi 60 \sim \phi 70$ mm 钢管或聚氯乙烯管(废测斜管), 长 2.5~3.0m, 一端用  $\phi 5 \sim \phi 6$ mm 钻头打数排小孔长度约 50cm, 用铜丝布包一层, 再用尼龙窗纱包两层, 用细铅丝扎紧, 孔底封死;

(3) 用  $\phi 108$  提土器开孔, 孔深各 2.0~2.5m, 在孔底依次倒入洗净粗砂和小瓜子片, 厚约 20cm, 水位管有小孔一端向下放入钻孔内, 到底后在水位管四周用洗净粗砂或小瓜子片填实, 钻孔口处留 30~40cm 水位管作观测用, 待钻孔淤实后, 用水准仪测量水位管管口高程, 并用砖砌成窰井加盖加锁保护, 以后定期测量管口高程, 借以修正地下水位高程;

6. 接通电缆与频率计, 测读数据, 并记录。

### 3.5 试验注意事项

1. 在试验地点按预定位置挖土至要求深度, 清除坑内残土;

2. 进水条件: 必须确保仪器的进水口畅通, 谨防水泥浆堵塞进水口, 为此应在进水口用中砂、细砂做成人工的过滤层, 滤层直径为 8cm;

3. 仪器预饱和: 由于混凝土的渗透系数很小, 而孔隙水压力计前盖空腹内有一定容积, 需要一定的水量才能充填满。为了解决此问题, 使仪器的滞后尽量小, 在仪器埋设前必须将前盖空腹装满水, 排除气泡, 滤层的中细砂也需充分饱和。埋设时、将近水口朝上, 以免空腔内的水溢出;

4. 本仪器应在额定测量范围内工作;
5. 观测项目、测量时间、基准值选择及记录表格均应参照仪器设备说明书;
6. 仪器未使用放置 12 个月以上时, 使用前应重新进行标定;
7. KYJ 系列振弦式孔隙水压力计的电缆接长方法及其它埋设施工应注意的事项请参照 EBJ 应变计系列对应条款进行。

### 3.6 试验数据记录与分析

1. KYJ 系列振弦式孔隙水压力计的手工测量用 ZXY-2 型或其它型号振弦频率读数仪完成。测量方法请参照相应读数仪的使用说明书, 测量完成后, 记录传感器的频率值(或频率模数值)、温度值、仪器编号、设备计编号和测量时间;

2. KYJ 系列振弦式孔隙压力的计算公式

$$P = K\Delta F + b\Delta T + B$$

式中  $P$  - 被测孔隙水压力值 (MPa)。

$K$  - 仪器标定系数 (Mpa/F)。

$\Delta F$  - 孔隙水压力计实时测量频率模数值相对于基准值的变化量 (F)。

$b$  - 孔隙水压力计的温度修正系数 (MPa / °C)。

$\Delta T$  - 孔隙水压力计的温度实时测量值相对于基准值的变化量 (°C)。

$B$  - 孔隙水压力计的计算修正值 (MPa)。

注: 频率模数  $F = f^2 \times 10^{-3}$ 。

## 实验 4 分层沉降检测

### settlement of separate levels test

#### 4.1 概述

分层沉降检测就是测定地基土的有效压缩层的厚度及各土层的变形特征。

分层沉降检测的基本原理是将感应线圈固定到需要测定深度的土层中，在波纹管中放入探测头，当探测头接近感应线圈处，仪器电磁感应发出信号，就可从标尺上测出线圈的位置，由此计算出各区段地基土的沉降。

仪器沉降量的测量由两大部分组成

一是地下材料埋入部分，由沉降导管和底盖、沉降磁环组成；

二是地面接收仪器 - 钢尺沉降仪，由测头、测量电缆、接收系统和绕线盘等部分组成。

1. 测头部分：不锈钢制成，内部安装了磁场感应器，当遇到外磁场作用时，便会接通接收系统，当外磁场不作用时，就会自动关闭接收系统。

2. 测量电缆部分：由钢尺和导线采用塑胶工艺合二为一，既防止了钢尺锈蚀，又简化了操作过程，测读更加方便、准确。钢尺电缆一端接入测头，另一端接入接收系统。

3. 接收系统：由音响器和峰值指示组成，音响器发出连续不断的蜂鸣声响，峰值指示为电压表指针指示，两者可通过拨动开关来选用，不管用何种接收系统，测读精度是一致的。

4. 绕线盘部分：由绕线圆盘和支架组成，接收系统和电池全置于绕线盘的芯腔内，腔外绕钢尺电缆。

5. 沉降管：由 PVC 工程塑料制成，包括主管和联接管，联接管套于两节主管接头处，起着联接固定的作用。

6. 底盖：由注塑制成（我厂生产），安装在沉降管的底端和顶端，能有效地防止泥砂进入或异物掉入管内，从而影响测量。

7. 沉降磁环：由注塑制成，内安装磁性材料，形成磁力圈，外安装弹簧片。磁环套在导管外，弹簧片与土层接触，随土层移动而位移。

#### 4.2 检测方法 with 适用范围

#### 4.2.1 检测方法

分层沉降仪检测、分层标检测。

#### 4.2.2 检测适用范围

本检测方法适用于软土地基加固、土石坝、基坑开挖、回填、路堤等工程中，测量土体的分层沉降或隆起，也可测量一般堤坝等建筑物的水平(侧向)位移量。本仪器既可在施工期间使用，也可作为大坝等建筑物的长期安全监测。

#### 4.3 试验仪器与材料

1. CJY—80 型分层沉降仪由探头、电缆、测读仪器、标尺等组成，其技术指标：精度：±1mm；测量深度：50m；探头尺寸：φ48X190mm；电源：直流 6V。(见图 4-1)

2. CJG--86 波纹管：φ53X6mm，要求波纹管纵向能自由伸缩。埋设前，在波纹管上每间隔 0.5—1.0m 箍一根感应线圈。

3. CJG--86 硬塑料管，φ53X 6mm 塑料管，固定接头，硬塑料管置手波纹管内，防止波纹管挤扁。

4. 感应线圈，用 φ2~3mm 铜丝。

5. 其他：常用铲土工具等。



图 4-1 分层沉降仪、测斜管

#### 4.4 检测方法与步骤

1. 根据测点位置，钻孔定位开孔，一般采用 φ108mm 钻具开孔。钻孔时，每次进尺大小视不同土质决定，为了使管子顺利地放到底，一般都需比安装深度深一些，它的原则是 10 米+0.5 米，20 米+1 米，以次类推，避免出现塌孔或缩孔现象，遇到松软地层应下套管或用泥浆护壁，成孔后必须清孔。清孔，钻头钻到预定位置后，不要立即提钻，需把泵接到清水里向下灌清水，直至泥浆水变成清混水为止，再提钻后安装；

2. 钻孔至预定深度后, 必须立即进行埋设, 第一根波纹管管底需用塑料板封死, 将波纹管放入, 然后逐节连接, 接到一定长度后加水于波纹管内, 将硬塑料管插入波纹管内向钻孔内压进, 边接边压直至孔底, 波纹管露出地面 15~20cm, 硬塑料管高出地面 36~50cm 便于观测, 波纹管与硬塑料管之间空隙用两块半圆盖板保护, 硬塑料管随填土增高加长, 每增高一次需测一次管口高程。安装管子的联接采用外接头, 一边下管子一边向管子内注入清水(管子浮力太大时);

3. 在波纹管与钻孔壁之间用黄砂填实;

4. 若要用到磁环的安装, 按设计要求在每节管子上套上磁环和定位环, 并用螺丝固定定位环, 然后再把管子插入外接头内, 拧紧螺钉, 这样边接边向下放到设计深度止;

5. 若磁环的间隔距离不是正 2 米时, 可采取调节管子长短来实现, 也可采用管子上套定位环的方法来解决, 但要掌握一个原则: 磁环向下要有足够的沉降距离, 必须满足其设计要求;

6. 沉降管放到设计要求后, 盖上盖子就可以进行回填。回填原料为现场干细土或中粗沙, 回填速度千万不能太快, 以免堵塞后回填料不去, 从而形成空隙, 最好时隔一两天后再去检查一下, 回填料下沉后再回填满之后即可, 管子周围加上保护措施, 方可放心待后测量;

7. 待钻孔基本稳定后, 用水准仪测出管口高程, 并用探测头自上而下依次逐点测定管内各感应线圈至管顶距离, 换算出相应各点的高程, 连续测试数日后读取稳定的初始读数;

8. 观测次数, 要求两天观测一次, 一般施工期每周两次, 停工间歇期可每周观测一次, 并定期测量管口高程, 便于修正读数;

9. 测结果当天记录入册, 及时计算出各区段沉降量。

分层标测试, 方法如下

1. 根据测点位置, 钻机定位成孔, 采用  $\phi 127\text{mm}$  成孔, 钻孔要求垂直, 无塌孔缩孔现象出现, 必要时下套管或泥浆护壁;

2. 孔至预定深度以上 50cm 为止, 须立即进行埋设, 先进行各部件装配, 然后逐节连接放入孔内, 直至孔底;

3. 管钳夹住测杆, 将测杆头旋紧, 钻进土层 50cm 达到以预定深度;

4. 为了避免磁疗管下沉影响测樯, 待标杆头钻进土层后, 需将套管拔离标杆

30~50cm;

5. 在套管与钻孔壁之间灌砂填实至孔口，等钻孔稳定一段时间后，在孔口用水泥将套管固定，同时测量测杆高程；

6. 随着填土增高，分层标的测杆与套管亦相应加长，每加一次需测测杆高程；

7. 观测要求同分层沉降管。

#### 4.5 试验注意事项

1. 因电池容量有限，每当测量完毕后，应立即关闭电源开关，切勿忘记！更换电池时，须把钢尺电缆从绕线盘上全部放下来，拧掉前面板上的两只 M4 自攻螺钉，取下前面板，便可更换新电池；

2. 测量后必须将测头及钢尺电缆等擦拭干净，并把钢尺电缆整齐地绕在绕线盘上，然后放置于箱柜中；

3. 测头工作时要求密封，绝对禁止拆卸，以免损坏；

4. 发现测头有故障时，应立即送我厂检修；

5. 测量电缆切忌弯折，特别是靠近测头端部，以免损坏和断裂；

6. 测头应轻拿、轻放，切忌剧烈震动；

7. 仪器应有放在温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，湿度不大于 80% 的无腐蚀性气体的干燥通风的房间内。；

3. 仪器未使用放置 12 个月以上时，使用前应重新进行标定。

#### 4.6 试验数据记录与分析

略

## 实验 5 水平位移检测

### horizontal shift test

#### 5.1 概述

水平位移检测就是测定地基内深层土体定点的水平位移量值。

水平位移检测的基本原理是测斜仪的外壳（探管）倾斜以后，挂在壳内的一个重垂器仍然垂直指向地心，重垂器连动着一个微型“滑动变阻器”（即电位器），随着倾斜角度的改变，电位器的动臂也按线性改变，在仪器制造时，已经锁定了电位器的动臂改变量与倾角成正比，这样，在测量电缆的另一端，测得的电位器的电阻值，本质上反映的“是倾角”。另外，探管中还装有一套“罗盘”系统，用类似以上的方法，把探管的“倾斜磁方位角”通过电缆“告诉地面上的检测人员。地面人员（或电脑）经过地理方位与地磁方位的变换，马上就得到了探管的地理倾斜方位角，也确定了倾斜角的实际大小数值。

水平位移检测利用被测结构物内部由于土应力变化而产生变形，带动锚固板移动，并通过固定在伸缩接头中的钢丝卡头传递给测量钢丝，牵动游标读出位移变化数据。

#### 5.2 检测方法与检测适用范围

##### 5.2.1 试验方法

用 5515—GC 型数字直读式测斜仪法。

##### 5.2.2 试验适用范围

本试验方法适用于软土地基加固、土石坝、基坑开挖、回填、路堤等工程中，测量土体内部的水平（侧向）位移量。本仪器既可在施工期间使用，也可作为大坝等建筑物的长期安全监测。

#### 5.3 试验仪器与材料

##### 1. 测斜仪组成(见图 5-1)

1. 15515-GC 型测斜器。其内部装有加速度计，上下配置两组导轮，便于沿侧斜管的导槽升降和定位。

1. 2 电缆。是十种附有标尺的特制电缆，连接测斜器与显示器，向测斜器供电，给显示器传递信号，并兼绳索牵引测斜器升降。

1. 3 显示器。显示器包括蓄电池组，电源变换线路等附件构成。

1. 4 侧斜导管。为模铸成形塑料管，材料有聚乙烯管和 PVC 管两种，接头有固定式和活动式两种，管径 71mm，壁厚 6mm，内壁开有四条对称导槽，作为测斜器滑动轨道，槽宽 5mm，槽深 3mm，导槽要求垂直、光滑。

使用前需用特制芯模，对导管导槽逐一进行检查，要上下滑动自如，不能出现卡住、跳槽等现象。

2. 导管及底盖：CXG—76 型测斜管  $\phi 65\text{mm}$

3. 其他：常用铲土工具等。

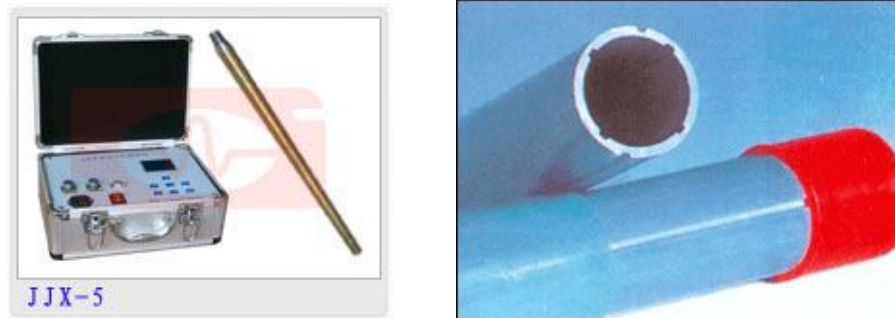


图 5-1 测斜仪、测斜管

#### 5.4 试验方法与步骤

1. 根据埋设位置，钻机定位成孔，一般采用  $\phi 108$  钻具开孔，钻孔时，每次进尺大小视不同土质决定，避免出现塌孔或缩孔现象；

2. 当钻孔至预定深度后，必须立即进行导管埋设，第一根导管管底需封死，如使用固定接头导管，应在导管外涂抹润滑油，两管连接时需用芯模将两管槽口对准，再涂抹粘合剂，减小槽口纵向扭曲，须将导管槽口对准所测的水平位移方向；

3. 一般应将导管埋入硬土层作为固定端，如软土层深厚难以进入硬土层时，应将导管埋至足够深度（该深度不产生水平位移），视该管端的水平位移为零，作为固定端，否则导管顶端应校正；

4. 导管埋至预定深度后，在导管与钻孔壁之间需用砂或小瓜子片填充。一般在导管埋设完成后需停留一段时间，使钻孔中填土密实紧贴导管，然后进行零点读数的测试；

5. 待所有测点埋设完毕后测管口高程。

#### 5.5 试验注意事项

1. 连接与检查。将电缆一端插入测斜器内，拧紧螺帽以防漏水，电缆另一端则插入

显示器内并拧紧螺帽，开电源，将功能开关置于电池位置，检查电池电压是否正常，正常后再将功能开关置于工作位置，将测斜器竖起来并向正反两个方向倾斜，视显示器数字有否变化，且倾角增大数字亦增加，表示仪器正常；

2. 测读。将测斜器感应方向对准水平位移方向导槽内，将测斜器轻轻滑入管底，停置片刻使其稳定，提起测斜器测量管底至管口距离，并测其读数，以后每隔 0.5m 测读一次。直至管口，然后将测斜器旋转  $180^{\circ}$ ，再按上述方法进行测试，这样可以消除仪器本身误差；

3. 零点读数测试。按上述步骤连续测读数日，作为加载前的零点读数。最好自行加工一只形同测斜器一样的探头，首先在测斜导管槽内滑动数次，确认测斜导管无异时再正式测读，以免仪器卡入管内；

## 5.6 试验数据记录与分析

1. 根据显示器读数进行计算，得出每个区段的位移量，以底部固定端值为零点，自下而上将各区段的位移量累加起来，得出水平位移曲线；

2. 水平位移量计算

差值 = 读数 N - 读数 S (或读数 E - 读数 W)

$\delta_1$  = 本次差值 - 零点值

3. 绘制水平位移曲线

## 实验 6 抗剪强度检测

### shear strength test

#### 6.1 概述

抗剪强度检测就是用插入软粘土中的十字板头，以一定的速率旋转，测出土的抵抗力矩，换算其抗剪强度，它相当于摩擦角  $\varphi_u = 0$  时的粘聚力  $C_u$  值。

十字板剪切试验 (FVST) 是原位测定饱和软粘土抗剪强度的一种方法，所测得的抗剪强度，相当于天然土层试验深度处，在天然压力固结下的不排水抗剪强度；是一种有效的原位测试方法。由于它避免了取样扰动的影响，同时是在土体天然应力状态下进行剪切，所以它是一种较为有效的原位测试方法。《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) 规定：十字板剪切试验可适用于饱和软粘土 ( $\varphi_u = 0$ ) 的不排水总强度和估算软粘土的灵敏度，所测得的强度指标在土体稳定性分析等方面有多种用途。试验深度一般不超过 30m，为测定软粘土不排水抗剪强度随深度的变化，布置测点时，对均质土试验点竖向间距可取 1m，非均质或夹薄层粉细砂的软粘土可根据静探资料确定。

#### 6.2 检测方法和检测适用范围

##### 6.2.1 检测方法

机械式和电测式。机械式十字板剪切仪是利用蜗轮旋转插入土层中的十字板头，借开口钢环测出抵抗力矩，计算土的强度。对饱和软粘土现场十字板剪切试验应采用电测式，宜选用轻型链式十字板静力触探两用仪与静态电阻应变仪配套使用。

十字板剪切试验抗剪强度的测定精度应达到 1~2kPa。

十字板的规格：目前国际上十字板形状有矩形和菱形，矩形又分为高矩形和矮矩形。我国使用的大多数为高矩形。

##### 6.2.1 检测适用范围

用于测试软粘土或中等强度硬粘土的天然不排水抗剪强度

#### 6.3 检测仪具与材料

1. 机械式十字板剪切仪 (见图 6-1)；
2. 十字板头：直径 50.0mm，高度 100.0mm，径高比为 1:2 的标准矩形十字板头，

板厚 2.0mm，刃口 60 度。常用规格有 50mm×100mm 和 75mm×150mm 两种；

3. 钻杆：直径 13.0mm，长度 50.0mm；
4. 扭力装置：由开口钢环、刻度盘、旋转手柄等组成；
5. 其他：百分表、水平尺、管钳等。



图 6-1 十字板剪切仪

#### 6.4 试验方法与步骤

- 1 在试验地点按钻探深度，将套管下至欲测试深度以上 3~5 倍套管直径处；
- 2 用木套管夹或链条钳将套管固定，以防套管下沉或扭力过大时套管发生反向旋转；
- 3 清除孔内残土。为避免试验土层受扰动，一般使用有孔螺旋钻清孔，在钻孔内虚土不宜超过 15cm。在软土钻进时，应在孔中保持足够水位，防止软土在孔底涌起；
- 4 将十字板头、轴杆、钻杆逐节接好用管钳拧紧，然后下放孔内至十字板头与孔底接触；
- 5 接上导杆，将底座穿过导杆固定在套管上，用制紧螺丝拧紧，然后将十字板头徐徐压至试验深度。当试验深度处为较硬夹层时，应穿过夹层进行试验；
- 6 套上传动部件，转动底板使导杆键槽与钢环固定夹键槽对正，用锁紧螺丝将固定套与底座锁紧，再转动手摇柄使特制键自由落入键槽，将指针对准任何一整数刻度，装上百分表并调至零位；
- 7 试验开始，以  $0.1^{\circ}/s$  的转速转动手柄，同时开动秒表，每转  $1^{\circ}$  测记百分表读数 1 次。当读数出现峰值或稳定值后，再继续旋转测读 1min。其峰值读数或稳定值读数为原状土剪切破坏时量最大读数  $R_s$ ；
- 8 拔出特制键，在导杆上端上旋转手柄，顺时针方向转动 6 圈，使十字板头周围土充分扰动。取下旋转手柄，然后插上特制键，按步骤（7）进行试验，测记重塑土剪切破坏时量表最大读数  $R_r$ 。重塑土的抗剪强度试验视工程需要而定，一般情况下可酌情

减少试验次数;

9 对于离合式十字板头, 拨下特制键, 上提导杆 2~3cm, 使离合齿脱离, 再插上特制键, 匀速转动手柄, 测记轴杆与土摩擦的量表稳定读数  $R_g$ ;

10 对于牙嵌式十字板头, 逆时针快速转动手柄 10 余圈, 使轴杆与十字板头脱离, 再顺时针方向匀速转动手柄, 测记轴杆与土摩擦时的量表读数  $R_g$ ;

11 试验完毕, 卸下转动部件和底座, 在导杆孔中插入吊钩, 逐节提取钻杆与十字板头。清洗十字板头, 检查螺丝是否松动, 轴杆是否弯曲;

12 水上进行十字板试验, 当孔底土质软时, 为防止套管在试验过程中下沉, 应采用套管控制器。

## 6.5 试验数据记录与分析

1. 按下列公式计算十字板剪切强度  $C_u$ 、 $C'_u$ 、灵敏度  $S_t$ 。

$$C_u = 10KC(R_y - R_g)$$

$$C'_u = 10K(R_e - R_g)$$

$$K = \frac{2L}{\pi D^2 H \left(1 + \frac{D}{3H}\right)}$$

$$S_t = \frac{C_u}{C'_u}$$

式中  $R_g$  - 轴杆和钻杆与土摩擦时的量程最大读数, mm;

$L$  - 率定时之力臂长, cm;

$C$  - 钢环系数, N/mm;

$K$  - 与十字板头尺寸有关的常数,  $\text{cm}^{-2}$ ;

2. 绘制土的抗剪强度随深度的变化曲线, 了解土的抗剪强度随深度的变化规律。

## 实验7 贯入阻力检测

### penetration resistance test

#### 7.1 概述

贯入阻力检测就是将圆锥型探头以一定的速率压入土体中,利用探头内的压力传感器,量测其比贯入阻力  $p_s$ 、锥尖阻力  $q_c$ 、侧壁摩阻力  $f_s$ 、摩阻比  $f$ 、孔隙水压力  $u$ 。

贯入阻力检测是指当探头压入土体中时,由于土层的阻力作用,使探头受到压力,土层强度愈高,探头所受到的压力愈大,使得探头传感器上的电桥发生变化,在弹性变形范围内,探头所受到的压力与桥压成线性关系,通过放大可将土层的阻力转换为电信号,然后由仪表测出。由于贯入阻力的大小与土层的性质有关,因此通过贯入阻力的变化情况,可以达到了解土层的工程性质的目的。《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)规定:静力触探试验适用于软土、一般粘性土、粉土、砂土和含少量碎石的土。在工程地质上,静力触探试验主要用于划分土层、判别土层类别、查明地基土在水平和垂直方向的均匀性;评价地基土的工程特性(承载力、压缩性、不排水抗剪强度、砂土液化、砂土密度和孔隙水压力等);确定桩基持力层,预估单桩承载力和沉桩可能性;检验人工填土的密实度和地基加固效果。

#### 7.2 检测方法和检测适用范围

##### 7.2.1 检测方法

单桥探头、双桥探头及带孔隙水压力测量的多功能探头试验法。

##### 7.2.2 检测适用范围

静力触探适用于粘性土、粉土、砂土及含少量碎石的土层,但不适于卵石、砾石地层。

#### 7.3 试验仪器与材料

1. 触探主机:应能匀速的将探头垂直压入土中,其额定贯入力和贯入速度应满足 GB/T15406-94 标准的规定。(见图 7-1)

2. 反力装置:可用地锚、压重、车辆自重提供所需的反力。

3. 探头:探头的结构按功能分不单桥探头、双桥探头和孔压探头。规格和结构:

单桥探头用于测定比贯入阻力  $P_s$ ，其结构主要由探头管、顶柱、变形柱（传感器）及锥头组成；双桥探头用于测定锥头阻力  $q_c$  和侧壁摩阻力  $f_s$ ，它与单桥探头的区别主要是有 2 个传感器（2 个电桥）分别测定锥头阻力和侧壁摩阻力；孔压静探探头，除测定锥头阻力和侧壁摩阻力外，同时还测下孔隙压力及消散。探头的技术规格应符合 GB/T15406-94 标准的规定。锥头截面积的误差为  $\pm 3\%$ ；双桥摩擦筒表面积容许误差为  $\pm 2\%$ ；锥头高度容许误差为  $-10\%$ 。

4. 探杆：探杆应符合 GB/T15406-94 标准的 8.2 条和 8.3 条的规定。

5. 量测仪器：采用下列仪器：静态电阻应变仪：准确度为  $\pm 2\%$ ；分度值为 5；静力触探数字测力仪：准确度自动挡为 0.3%，手动挡为 5%。

6 其他：水准尺、管钳等工具。

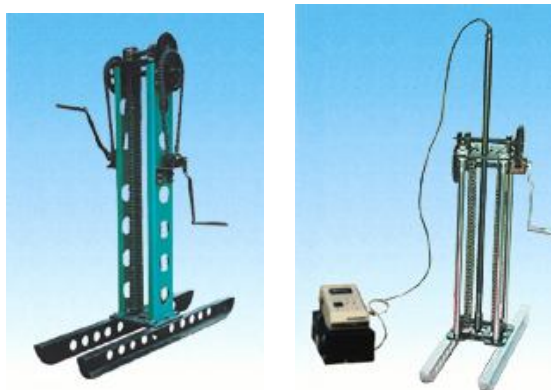


图 7-1 静力触探仪

#### 7.4 试验方法与步骤

1. 平整试验场地，设置反力装置。将触探主机对准孔位，调平机座（用分度值为 1mm 的水准尺校准），并紧固在反力装置上；

2. 将已穿入探杆内的传感器引线按要求接到量测仪器上，打开电源开关，预热并调试到正常工作状态；

3. 贯入前应试压探头，检查顶柱、锥头、摩擦筒等部件工作是否正常。当测孔隙压力时，应使孔压传感器透水面饱和。正常后将连接探头的探杆插入导向器内，调整垂直并紧固导向装置，必须保证探头垂直贯入土中。启动动力设备并调整到正常工作状态；

4. 采用自动记录仪时，应安装深度转换装置，并检查卷纸机构运转是否正常；采用电阻应变仪或数字测力仪时，应设置深度标尺；

5. 将探头按  $1.2 \pm 0.03m/min$  均速贯入土中 0.5 - 1.0m 左右（冬季应超过冻结线），然后稍许提升，使探头传感器处于不受力状态。待探头温度与地温平衡后（仪器零位基

本稳定), 将仪器调零或记录初读数, 即可进行正常贯入。在深度 6mm 内, 一般每贯入 1 - 2m, 应提升探头检查温漂并调零; 6m 以下每贯入 5~10m 应提升探头检查回零情况, 当出现异常时, 应检查原因及时处理;

6. 贯入过程中, 当采用自动记录时, 应根据贯入阻力大小合理选用供桥电压, 并随时核对, 校正深度记录误差, 作好记录; 使用电阻应变仪或数字测力计时, 一般每隔 0.1 - 0.2m 记录读数 1 次;

7. 当测定孔隙水压消散时, 应在预定的深度或土层停止贯入, 并按适当的时间间隔或自动测读孔隙水压消散值, 直至基本稳定;

8. 当贯入到预定深度或出现下列情况之一时, 应停止贯入;

一触探主机达到额定贯入力; 探头阻力达到最大容许压力。

一反力装置失效。

一发现探杆弯曲已达到不能容许的程度。

9. 试验结束应及时起拔探杆, 并记录仪器的回零情况。探头拔出后应立即清洗上油, 妥善保管, 防止探头被曝晒或受冻。

## 7.5 试验注意事项及要求

1. 探头的率定: 建立比贯入阻力与传感器应变值之间的关系, 得出探头的率定系数, 或确定记录仪的供桥电压 (校正值);

2. 现场试验时应做好探头的密封防水措施, 保持探头垂直贯入土中; 贯入标准速率宜为  $1.2 \pm 0.3 \text{ m/min}$ , 将探头压入土中 0.5 - 1.0m, 然后稍许上提, 使探头处于不受力状态, 待探头与地温平衡后, 将仪器调零或记录初读数。每贯入 3.0 - 5.0m 时, 应提升探头检查回零情况;

3. 试验点与已有钻孔、触探孔、十字板试验孔等的距离, 建议不小于 20 倍已有的孔径;

4. 验前应根据试验场地的地质情况, 合理选用探头, 使其在贯入过程中, 仪器的灵敏度较高而又不致于损坏;

5. 试验点必须避开地下设施 (管道、电缆等), 以免发生意外;

6. 由于人为或设备的故障, 而使贯入中断 10mm 以上, 应及时排除。故障处理后, 重新贯入前应提升探头, 测记零读数。对超深触探孔分两次或多次贯入时; 或在钻孔底部进行触探时, 在深度衔接点以下的扰动段, 其测试数据应舍弃;

7. 应注意安全操作和安全用电;

8. 当使用液压式、电动丝杆式触探主机时, 活塞杆、丝杆的行程不得超过上、下限位, 以免损坏设备;

9. 采用拧锚机时, 应待准备就绪后才可启动。拧锚过程中如遇障碍, 应立即停机处理。

## 7.6 试验数据记录与分析

### 1 原始数据的处理

1. 1 零点读数: 当有零点漂移时, 一般按回零段内以线性内插法进行校正, 校正值等于读数值减零读数内插值。

1. 2 记录深度与实际深度有误差时, 应按线性内插法调整。

2. 1 按下列公式分别计算比贯入阻力  $P_s$ 、锥头阻力  $q_c$ 、侧壁摩阻力  $f_s$ 、摩阻比  $F$  及孔隙水压力  $u$

$$p_s = k_p \varepsilon_p$$

$$q_c = k_q \varepsilon_q$$

$$f_s = k_f \varepsilon_f$$

$$u = k_u \varepsilon_u$$

$$F = \frac{f_s}{q_c}$$

式中  $k_p$ 、 $k_q$ 、 $k_f$ 、 $k_u$  - 分别为对应的率定系数,  $kPa/\mu\varepsilon$ ,  $kPa/mV$ ;

$\varepsilon_p$ 、 $\varepsilon_q$ 、 $\varepsilon_f$ 、 $\varepsilon_u$  - 分别为单桥探头、双桥探头、摩擦筒及孔压探头传感器的应变变量或输出电压,  $\mu\varepsilon$ ,  $mV$ 。

2. 2 估算静探水平向固结系数  $C_{ph}$ :

$$C_{ph} = \frac{R^2}{t_{50}} T_{50}$$

式中  $T_{50}$  - 与圆锥几何形状、透水板位置有关的相应于孔隙压力消散度 50% 的时间因数 (对锥角  $60^\circ$ 、截面积为  $10\text{cm}^2$ 、透水板位于锥底处的孔压探头, 相应的  $T_{50}=5.6$

$R$  - 探头圆锥底半径,  $\text{cm}$ ;

$t_{50}$  - 实测孔隙消散度达 50% 的经历时间, s。

2. 3 以深度 (H) 为纵坐标, 以锥头阻力  $q_c$  (或比贯入阻力  $q_s$ )、侧壁摩阻力  $f_s$ 、摩阻比  $F$  及孔隙压国为横坐标, 绘制  $q_c - H$  ( $p_s - H$ )、 $f_s - H$ 、 $F - H$  及  $u - H$  关系曲线图。

2. 4 绘制孔隙水压力消散曲线。

1 数据取舍。由于土的变异、孔压传感器含气以及操作等原因, 使实测的初始孔隙水压力滞后很多或波动太大, 这些数据应舍弃。

2 将消散数据归一化为超孔隙压力, 消散度  $\bar{U}$  定义为

$$\bar{U} = \frac{u_t - u_0}{u_i - u_0}$$

式中  $\bar{U}$  -  $t$  时孔隙水压力消散度, %;

$u_t$  -  $t$  时孔隙水压力实测值, kPa;

$u_0$  - 静水压力, kPa;

$u_i$  - 开始 (或贯入) 时的孔隙水压力 ( $t=0$ ) kPa。

3 绘制  $\bar{U}$  对  $\lg t$  的曲线。

## 实验 8 基桩性能检测

### dynamic test pile foundation

#### 8.1 概述

基桩性能检测就是测定桩身缺陷及其位置，判断桩身结构完整性，并推断单桩承载力。

桩基动力检测是指在桩顶施加一个动态力(动荷载)，动态力可以是瞬态冲击力或稳态激振力。桩—土系统在动态力的作用下产生动态响应，采用不同功能的传感器在桩顶量测动态响应信号(如位移、速度、加速度信号)，通过对信号的时域分析、频域分析或传递函数分析，判断桩身结构完整性，推断单桩承载力。对于一柱一桩的建筑物或构筑物，应进行全部基桩检测。

一柱一桩时，应按施工班组抽测，抽测数量应根据工程的重要性、抗震设防等级、地质条件、成桩工艺、检测目的等情况，由有关部门协商确定。检测混凝土灌注桩桩身完整性时，测数不得少于该批桩总数的 20%，且不得少于 10 根；检测混凝土灌注桩承载力时，抽测数不得少于该批桩总数的 10%，且不得少于 5 根。

当抽测不合格的桩数超过抽测数 30% 时，应加倍重新抽测。加倍抽测后，若不合格桩数仍超过抽测数的 30%，应全数检测。对于采用声波透射法时，加倍重新抽测可采用其他检测方法。

#### 8.2 检测方法与适用范围

##### 8.2.1 检测方法

采用 RS 系列桩基动测仪进行试验，即反射波法；采用 ZK 系列桩基动测仪，成都工程检测研究所研发，目前的最新型号为 ZK-7D、ZK-7E / 7E2，ZK 系列桩基动测仪具备反射波法及机械阻抗法两种低应变检测手段；RSM 系列桩基动测仪，中国科学院武汉岩土力学研究所开发，最新型号为 RSM-24FD(n) 浮点工程动测仪；PDAS 系列桩基动态检测系统，东南大学土木工程学院工程力学系研发，最新型号为 TK-PDS。

PIT 桩身完整性测试仪，PIT(Pile Integrity Tester)由美国桩动力学公司研制生产。有 V 型和 F-V 型两种型号；TNO 基础桩诊断系统，荷兰建筑材料与建筑结构研究所研制，

是专门用来检测桩身完整性的测试仪，FPDS-6 是其最新型号。

### 8.2.2 检测适用范围

各类钢筋混凝土预制或现场浇捣制作的桩基。

### 8.3 试验仪器与材料（见 8-1）

1. RS1616KP 系列桩基动测仪：①内置 16 位 A/D 转换板；硬盘容量 16M。②采样间隔为  $10 \sim 32767 \mu s$ ，采样长度 1024 点。③采用专用的多功能手锤、多功能力棒，传感器为国产或进口 ICP 加速度传感器、速度传感器，兼容所有常见的反射波法用传感器。④将计算机操作系统、直流电源、A/D 转换部分、存储与显示部分全部集中于合金箱中，结构紧凑，一体化程度高，抗干扰能力强。内置带背光、反射型、低功耗、平板彩色 640X200LCD，白天和晚上都能看见清晰的波形，使用光电式旋转开关取代计算机中的鼠标。⑤采用前放，可进行 1-128 倍多档设置，可选用 1、10、100 倍浮点放大。⑥主机质量约 4.0kg，体积为 250mmX280mmX110mm。内置充电电池，可连续工作 6h 以上。

2. 其他：必备修理桩顶部位的工具。



图 8-1 桩基动测仪

### 8.4 检测方法步骤

1. 在试验地点按预定位置挖土至要求深度，清除桩顶残土并修平。
2. 连接 RS-1616KP 桩基动测仪，并调试至正常工作状态。
3. 开机后，进入测试系统，按要求调节、设定好预定参数。

4. 在待测试的桩顶上安装就位传感器，用小锤先轻敲桩头，视测试系统有无反映，然后可以正式测试。

5. 根据工程情况，重复测定三次，记录数据。

## 8.5 检测注意事项与要求

1. 本仪器应在额定测量范围内工作。
2. 仪器未使用放置 12 个月以上时，使用前应重新进行标定。

## 8.6 检测数据记录与分析

### (一)、信号后处理

1. 数字滤波。桩基检测中常用的加速度传感器的上限频率过宽，激振时引发的多种高频干扰也一并被接收，而速度传感器(特别是地震检波器)采集的波形经常呈指数衰减振荡曲线，严重影响对桩身质量的判断，这时数字滤波就显得尤为重要。采用数字滤波滤去与桩身质量无关的干扰频率，增大有效波成分，以便波形能真实反映桩身完整性情况。如滤波参数选择合适，滤波后的信号将非常有利于对缺陷信号的识别。

2. 时变增益放大。应力波沿桩身传播时，随传播距离的增加信号衰减严重，给动态诊断带来很大困难。在混凝土基础结构中，这一衰减量约在 2—8dB/ms，即使对于 20m 以内的工程桩，有时反射波与入射波峰值之比也可能超过测试系统的动态范围。因此，对于长桩或信号衰减严重的桩而言，要看到不削波(不失真)的入射波及桩底反射，是一对矛盾。为此，反射波法测试系统中常采用时变增益放大环节，由硬件或软件实现。以桩顶同一测点处的入射波与桩底反射波信号之间的时差为区间，在此区间内，放大增益按时间的指数函数广增加。显然，当选择适当时，可使入射信号与反射波信号大小相当，从而基本能够补偿反射信号因衰减所造成的亏损。采用时变增益放大可以大大提高反射波的动态范围，有时可使本来难以辨认的桩底反射变得清晰可见。反射波法桩底信号指数放大的倍数取决于桩长及桩周介质，桩越长，放大倍数应取得越大。桩周介质越坚硬(淤泥斗粉土—砂土—岩石)，对敲击产生的波场的扩散作用越明显，放大倍数也应设定得越大。指数放大的倍数不宜太大(20—30 倍较合适)，过分放大的信号其尾部有时会呈现为大波浪，会将其牵强地判定为桩底反射。

### 3. 时域分析

3. 1 波速：反射波法检测桩身质量时，桩身混凝土的波速是一个重要的判断依据。在一维杆件的应力波理论中，应力波传播速度即相速度固定不变，即

$$c_b = \sqrt{E/\rho}$$

式中  $c_b$  - 应力波的相速度, m/s

$E$  - 桩身混凝土弹性模量, Mpa

$\rho$  - 桩身混凝土密度, Kg/m<sup>3</sup>

实际测量中, 若已知桩身长度, 波速为

$$c = 2L/\Delta T$$

式中  $c$  - 纵波在桩身混凝土中的传播速度, m/s

$L$  - 桩长, m

$\Delta T$  - 桩底反射波的到达时间, s

桩基检测时, 常常会遇到对同一根桩用不同检测方法测得的波速各不相同。例如, 声波透射法测得的波速高于高、低应变法, 主要是由于用于测桩的超声波频率高 (>20kHz); 另外, 高、低应变法把桩当成一维杆, 忽略应力波传播过程的横向惯性效应, 而声波透射法是三维空间模型, 比一维杆假定的波速高。低应变法测得的波速又较高应变法的波速高, 是由于后者的应力水平高, 应变幅度大, 使局部混凝土进入塑性状态, 导致波速偏低。

3. 2 波速与强度的关系: 反射波法检测桩基质量时, 一般由工程监理或施工单位提供桩身混凝土设计强度等级和施工桩长。为了解施工质量的大体情况, 通常对试敲的几根桩计算其应力波传播波速  $c$ , 看其是否与混凝土设计强度相匹配。这是利用了波速与混凝土强度呈正相关关系的特点, 即混凝土强度等级越高, 波速越大。

### 3. 3 桩长及缺陷位置

#### (1) 桩长及缺陷位置计算

桩长  $L$  按下式计算:

$$L = c\Delta T/2$$

缺陷距桩顶的距离按下式计算

$$L' = c\Delta t/2$$

式中:  $L'$  - 缺陷距桩顶的距离, m;

$\Delta t$  - 缺陷处反射波的到达时间, s。

波速  $c$  一般采用同一工地内多根已测完整桩桩身纵波速度的平均值  $c$ ; 当桩长已知、桩底反射信号明确时, 在地质条件、设计桩型、成桩工艺相同的基桩中, 选取不少于 5

根 I 类桩的波速  $c$ ，按下式计算  $c_m$ ：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i$$

$$c_i = 2L / \Delta T$$

$$c_i = 2L \Delta f$$

式中  $c_m$  - 桩身波速的平均值，m/s；

$c_i$  - 第  $i$  根受检桩的桩身波速值，且  $|c_i - c_m| / c_m \leq 5\%$ ，m/s；

$\Delta f$  - 幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差，Hz；

$n$  - 参加波速平均值计算的基桩数量 ( $n \geq 5$ )。

## (2) 有效测试深度

反射波法的有效测试深度受以下因素的影响

① 激振方式 手锤越重、接触面刚度越小、应力波频率越低，则激振能量越大，测试深度越大。

② 桩身质量 桩身混凝土越致密、强度越高、材料阻尼越小，则应力波能量被吸收得越少，测试深度越大。

③ 桩型 非挤土桩测试深度大于挤土桩，有泥浆护壁的钻、冲孔桩的测试深度也会大一些。

④ 桩周土 桩侧土阻力越小、桩身刚度比越大，能量衰减越小，测试深度越大。

⑤ 桩身完整性 桩身出现的各类缺陷都会引起能量损失，降低测试深度。

⑥ 桩底支承条件 桩端混凝土与桩端持力层阻抗相差越大，测试范围越大，反之，相差越小。例如支承在阻抗相近的岩石上的嵌岩端承桩，即便桩很短，也难以获得桩底反射波。

⑦ 仪器设备条件 测试系统特别是传感器的选择直接影响测试深度。

《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106—2002)未规定有效测试深度，指出具体工程的有效检测桩长应通过现场试验，依据能否识别桩底反射信号，确定是否适用。

## (三) 频域分析

频域分析是试验振动分析中的一个重要环节，对测试信号作时、频域综合分析，是动态测试的普遍做法。在桩基检测中，要对桩身完整性做出正确的判断，只进行时域分析，有时不能有效地识别和排除各种干扰频率的影响。而频域分析则可通过研究桩身振动频

谱的组成情况,判断出仪器频响、测试技术及数据处理方法等对测试信号和测试结果产生的影响,并采取相应措施,提高测试信号的质量。

反射波法测桩时,使用频域分析,在以下方面可弥补时域分析的不足

①现场测试时,频域分析可用于指导选择及安装传感器,产生合适的振源。

②频域分析可以找出和排除各种干扰频率。速度传感器欠阻尼的振荡干扰、不良安装产生较低的谐振频率等现象出现时,利用频域分析可以找出其干扰频率,并通过数字滤波的方法消除这些干扰。

③时域分析有时难以找到桩底反射信号和某些缺陷的反应信息,但在频域分析时,利用各信号间谐振峰频差出现的规律,则可能计算出桩长(或波速)及相应的缺陷位置。因此,当时域信号一致性较差或干扰严重时,可在频域作进一步分析。

#### (四) 各类缺陷(或桩底)的波形特征

灌注桩、预制桩常见的几种缺陷和不同支承条件下桩底的反射波相位及波形特征列于下表:

类型	桩身缺陷及桩支承情况	波阻抗变化	反射波相位特征	反射波波形特征	备注
灌	断裂(夹层)	$\rho_1 > \rho_2$ , $c_1 > c_2, A_1 = A_2$	同相	多次反射,间隔震时间相等;第一反射脉冲幅值较高,前沿比较陡峭;难见以下部位较大缺陷及桩底信号	
	缩颈	$\rho_1 = \rho_2$ $c_1 = c_2, A_1 > A_2$	同相	反射波形比较规则;可能有多次反射地,一般可见桩底信号	
	离析	$\rho_1 > \rho_2$ , $c_1 > c_2, A_1 = A_2$	同相	反射波形不规则;后续信号杂乱;波速偏小;一般可见以下部位较大缺陷及桩底信号	
桩	扩颈	$\rho_1 = \rho_2$ $c_1 = c_2, A_1 < A_2$	反相	反射波形比较规则;可能有多次反射,一般可见桩底信号	

预 制 桩	裂缝、裂隙、 破碎	$\rho_1 > \rho_2$ $c_1 > c_2, A_1 = A_2$	同相	一次或多次反射，能否 看到桩底信号视缺陷严重程 度	细小的不 贯 穿裂缝会 漏判
	脱焊、虚焊 等	$\rho_1 > \rho_2$ $c_1 > c_2, A_1 = A_2$	同相	在接头处出现同相反射 波，严重时难见以下部位较 大缺陷及桩底信号	适用于焊 接 接桩
桩 底 在 支 承 条 件	摩擦桩	$\rho_1 > \rho_2$ $c_1 > c_2, A_1 = A_2$	同相	在有效测试深度内桩底 信号一般较清晰	
	嵌岩桩	$\rho_1 \leq \rho_2$ $c_1 \leq c_2, A_1 = A_2$	见右	会出现 3 种情况：桩底 反射不清晰；反相；先反相 后同相。尾部反射波形较复 杂	反相反射 有 时是基岩 面
	桩底沉渣过 厚	$\rho_1 > \rho_2$ $c_1 > c_2, A_1 = A_2$	同相	一般较清晰，注意与同 场地的其桩比较	适用于端 承桩

## 实验 9 土体承载力检测

### earth bearing capacity test

#### 9.1

土体承载力检测在一定面积的承压板上向地基土逐级加荷载，直接确定地基土的承载力和变形模量。

地基土静载荷试验是各种原位测试方法中开展得比较早的测试技术，它基本上能够模拟建筑物地基的实际受荷条件，比较准确地反映地基土受力状况和变形特征。载荷试验项目包括平板载荷试验和螺旋板载荷试验，它是在一定面积的承压板上向地基土逐级施加荷载，观测地基土的承受压力和变形的原位试验，是直接确定地基土承载力和变形模量等参数的最可靠方法，也是其他原位测试方法测得的地基土力学参数建立经验关系的主要依据。《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)规定：荷载试验应布置在有代表性的地点，每个场地不宜少于 3 个点，当场地内岩土体不均匀时，应适当增加试验点。平板载荷试验适用于各类地基土，它所反映的相当于承压板下 1.5~2.0 倍承压板直径(或宽度)的深度范围内地基土的强度、变形的综合性状。螺旋板载荷试验适用于粘土和砂土地基，用于深层或地下水位以下的土层。

#### 9.2 检测方法与检测适用范围

##### 9.2.1 检测方法

平板荷载试验、螺旋板荷载试验法。

##### 9.2.2 检测适用范围

地表浅层地基、填土及碎石类土。

#### 9.3 仪器与材料检测(见图 9-1)

1. 承压板：应具有足够的刚度。一般采用圆形或正方形钢质板；也可采用现浇或预制混凝土板。面积可采用  $0.25 - 0.50\text{m}^2$ ，不应小于  $0.1\text{m}^2$ 。

2. 加荷装置：包括压力源、载荷台架或反力构架。压力源：可用液压装置或重物，其出力误差不得大于全量程的 1%；安全过负荷度应大于 120%。载荷台架或反力构架：必须牢固稳定、安全可靠，其承受能力不小于试验最大荷载的 1.5~2.0 倍。

3. 沉降观测装置：其组合必须牢固稳定、调节方便。位移仪表可采用大量程百分表或位移传感器等，相应的分度值为 0.01mm。



图 9-1 静载荷试验仪

#### 9.4 检测方法步骤

1. 在有代表性的地点，整平场地，开挖试坑。试坑底面宽度不小于承压板直径（或宽度）的 3 倍。试验前应保持试坑土层的天然状态。在开挖试坑及安装设备中，应将坑内地下水位降至坑底以下，并防止因降低水位而可能产生破坏土体的现象。试验前应在试坑边取原状土样 2 个，以测定土的含水率和密度。

2. 设备安装，其次序与要求如下：

2. 1 安装承压板。安装承压板前应整平试坑面，铺约 1cm 厚的中砂垫层，并用水平尺找平，承压板与试验面平整接触。

2. 2 安放载荷台架或加荷千斤顶反力构架，其中心应与承压板中心一致。当调整反力构架时，应避免对承压板施加压力。

2. 3 沉降观测装置。其固定点应设在不受变形影响的位置处。沉降观测点应对称设置。

2. 4 试验点应避免冰冻、曝晒、雨淋，必要时设置工作棚。

2. 5 荷载一般按等量分级施加，并保持静力条件和沿承压板中心传递。每级荷载增量一般取预估试验土层极限压力的  $1/8 - 1/10$ 。当不易预估其极限压力时，可按下表所列增量选用。

荷载增量表

试验土层特征	荷载增量（kPa）
淤泥、流塑状粘质土、饱和或松散的粉细砂	$\leq 15$
软塑状粘质土、疏松的黄土、稍密的粉细砂	15 - 25
可塑~硬塑状粘质土、一般黄土、中密~密实的粉细砂	25 - 100
坚硬的粘质土、中粗砂、碎石类土、软质岩石	50 - 200

2.6 稳定标准: 一般采用相对稳定法, 即每施加一级荷载, 待沉降速率达到相对稳定后再加下一级荷载。

2.7 应按时、准确观测沉降量。每级荷载下观测沉降的时间间隔一般采用下列标准: 自加荷开始, 按 10、10、10、15、15, 以后每隔 30-60min 观测 1 次, 直至 1h 的沉降量不大于 0.1mm 为止。

2.8 试验一般宜进行至试验土层达到破坏阶段终止。当出现下列情况之一时, 即可终止试验。

一在本级荷载下, 沉降急剧增加, 承压板周围出现裂缝和隆起。

一在本级荷载下, 持续 24h 沉降速率加速或近似等速发展。

一总沉降量超过承压板直径 (或宽度) 的 1/12。

一当达不到极限荷载时, 最大压力应达预期设计压力的 2.0 倍或超过第一拐点到少三级荷载。

2.9 当需要卸载观测回弹时, 每级卸载量可为加载量的 2 倍, 历时 1h, 每隔 15min 观测一次。荷载安全卸除后继续观测 3h。

## 9.5 检测注意事项及要求

1. 注意试验时的系统误差, 主要为承台对基准梁的影响。

2. 试验偶然误差, 主要指千斤顶标定率、百分表安放。

3. 小尺寸刚性承压板作用下的土中应力状态复杂, 推求的变形模量相当粗略。

4. 载荷试验所得出的地基承载力值偏低。

5. 载荷试验加荷速度快, 对软土地基, 地基的实际变形与试验所得有较大差异, 从而导致确定的参数变化较大。

## 9.6 检测数据记录与分析

1. 对原始数据检查、校对后, 整理出荷载与沉降值、时间与沉降值汇总表。

2. 绘制 P-S 曲线, 其比例尺一般按最终荷载与所对应的最大沉降量在图幅上之比 0.9:1.0-1.0:1.2 为宜。P 坐标单位为 kPa, S 坐标单位为 mm。

典型的 P-S 曲线分为三段。第 I 段为直线变形阶段, 土体以压缩变形为主, 应力应变关系基本符合虎克定律。第二阶段为局部剪切阶段, 压缩变形所占分量逐渐减少, 剪切变形所占分量逐渐增加。第三阶段为破坏阶段, 曲线陡降, 土体发生整体破坏。这种类型称“拐点型”曲线。但在许多情况下, 直线变形段不明显, 称“圆滑型”曲线。

### 3. 特征值的确定

3. 1 当曲线具有明显直线段及转折点时,一般以转折点所对应的压力定为临塑荷载值(比例界限值)。

3. 2 线无明显直线段及转折点时,可按本规程 2. 3. 7 所列情况确定极限荷载值。

### 4. 承载力基本值 $f_0$ 的确定。

4. 1 比例界限明确时,取该比例界限所对应的荷载值,即  $f_0=p_f$ 。

4. 2 当极限荷载能确定时,(且该值小于比例界限荷载值 1.5 倍时)取极限荷载值的一半,即  $f_0=p_l/2$ 。

4. 3 沉降标准取值。对低压缩性土和砂土,取  $s=(0.01-0.015)b$  对应的荷载值。对高压缩性土,取  $s=0.02b$  对应的荷载值。

### 4. 4 按下列两式计算变形量

$$E_0 = 0.79(1-\mu^2)d \frac{P}{S} \quad (\text{承压板为圆形})$$

$$E_0 = 0.89(1-\mu^2)a \frac{P}{S} \quad (\text{承压板为方形})$$

式中  $E_0$  - 试验土层出的变形模量, kPa;

$P$  - 施加的压力, kPa;

$S$  - 对应于施加压力的沉降量, cm;

$D$  - 承压板的直径, cm;

$A$  - 承压板的边长, cm;

$\mu$  - 泊松比。

## 实验 10 粗颗粒土抗剪强度检测

### earth shear strength test

#### 10.1 概述

土抗剪强度检测就是通过现场试验，确定土体抵抗剪切破坏的能力，测出土体的垂直压力和剪应力，计算出土体的抗剪强度参数。

大型直剪试验原理与室内直剪试验基本相同，但由于试件尺寸大且在现场进行，因此能把岩土体的非均质性及软弱面等对抗剪强度的影响更真实地反映出来。它适用于求测各类岩土体沿软弱结构面或岩土体与混凝土接触面的抗剪强度。有水平剪切法和水平挤压法，或岩土体现场抗剪断试验和岩土体剪断沿剪切面的抗剪试验（即摩擦试验）。水平剪切法与室内直剪试验相同，对几个试样施加不同的垂直压力，待固结稳定后，施加水平剪力，使试样在预定的剪切面上破坏，找出每个试样的破坏剪应力。水平挤压法是根据土体形成的破坏滑动面，用极限平衡分析的方法，反算出土体的抗剪强度参数。

#### 10.2 检测方法和检测适用范围

##### 10.2.1 检测方法

现场大型直剪试验分为土体现场大型直剪试验和岩体现场大型直剪试验。

##### 10.2.2 检测适用范围

它适用于求测各类岩土体沿软弱结构面或岩土体与混凝土接触面的抗剪强度。

#### 10.3 试验仪器与材料

1 应力控制式大型直剪仪：由上剪切盒、下剪切盒、传压板、滚珠排、垂直加压框架和水平加压支座组成。（见图 10-1）

2 剪切盒：形状宜采用圆形，尺寸： $D/d_{\max}$  为 8-12， $H/d_{\max}$  为 4-8。

3 加荷设备：双向油压千斤顶 2 台和稳定装置。

4 百分表：量程 30mm，分度值 0.01mm。

5 其他设备：真空泵（附真空测压表）、饱和器（附金属真空缸）、粗筛一套（筛孔孔径分别 60、40、20、10、5、2mm）、磅秤（分度值 250g）、台秤、托盘天平、水平尺、拌和工具、恒湿设备与击实锤。

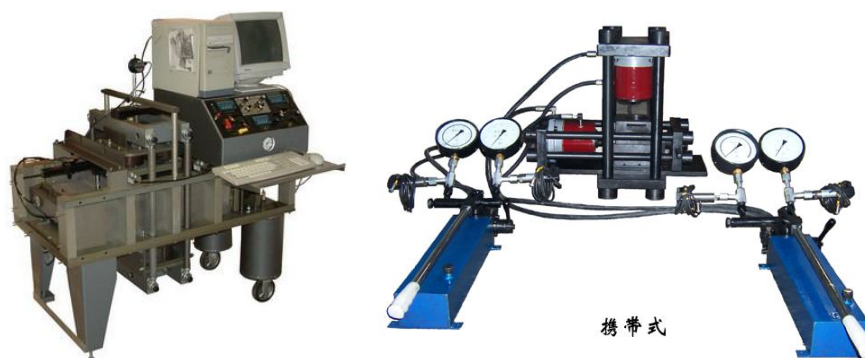


图 10-1 大型直剪仪

#### 10.4 试验方法与步骤

##### 1. 试样制备和安装

1.1 试样按 SL237-053-1999 规程的规定进行备料。根据试验要求的干密度、含水率和试样尺寸，计算并称取试验所需的土样数量。对无粘性粗颗粒土为防止颗粒分离，也可根据装填层数，分层称取试验所需的土样。

1.2 将下剪切盒吊放在滚轴排上，并在下剪切盒上安装放开缝环及钢珠（控制剪切缝尺寸为  $(1/3 - 1/4) d_{max}$ ，然后将上剪切盒放上，务使上、下盒同心，并用固定插销定位。

1.3 将称好的试样拌匀后分层装入剪切盒内（层次可根据高度与层缝错开的原则而定，一般为 3 或 5 层）。每一层应击至要求的高度。对粘质粗颗粒土，每层表面刨毛后，再填第二层。重复上述步骤至最后一层，整平表面。

1.4 试样如需饱和，对无粘性粗颗粒土，宜用水头饱和；对粘质粗颗粒土宜用真空饱和法。

1.5 在试样面上依次放上透水板、传压板、垂直千斤顶和传压板等，并与液压稳定器管路连接。要求安装对中，传压板应用水平尺校正。上、下反力钢梁应水平。然后安装 2~4 个垂直百分表，徐徐开动垂直千斤顶，使各部接触。记录变形起始读数。

1.6 安装水平千斤顶和水平百分表，务使水平千斤顶的着力线通过剪切面的中心。徐徐开动水平千斤顶，使其与下剪切盒的着力点接触（即水平百分表开始微动）即停止。

1.7 每组试验应制备 4 至 5 个试样，其密度差值不得大于  $0.03\text{g/cm}^3$ ，含水率差值不得大于 1%，在不同压力下进行试验，各能垂直压力差大致相同。

##### 2 快剪试验 (Q)

2.1 按本规程的规定安装试样和定位，但在试样上、下面接触处，安放与透水板厚度相等的不透水钢板。在试样上一次施加额定的垂直荷载，使其在整个试验过程中保持

恒定。

2.2 拨除上、下剪切盒的固定销并取掉开缝环。记录垂直、水平千斤顶、百分表等的读数。随即开动水平千斤顶，施加水平荷载，每 30s 加一级，并测读 1 次水平百分表和垂直百分表的读数。起始水平荷载按垂直荷载的 7%—10%施加。当某级水平荷载下的剪切位移超过前一级剪切位移的 1.5—2.0 倍时，改为按 5%施加。每施加一级水平荷载，测读垂直和水平百分表各一次。

当水平荷载读数不再增加或剪切变形急骤增长，即认为已剪损。若无上述两种情况出现，应控制剪切变形达到试样直径的  $1/15 - 1/10$ ，方可停止试验。应控制试样在 5—10min 内达到剪切破坏。

2.3 试验结束后，尽快卸去百分表、水平荷载、垂直荷载和加荷设备。视需要对剪切面作简要描述。取剪切面附近的试样，测定其剪切后含水率与颗粒级配。

### 3 固结快剪试验 (R)

3.1 按本规程 3.2.1 的规定进行试样安装和定位。但试样上、下两面的不透水板换放细钢丝布和透水钢板。

3.2 在试样上施加垂直荷载后，如每小时垂直变形小于 0.3 mm，则认为变形稳定。测记此时垂直百分表读数。

3.3 试样达到固结稳定后，按本规程 3.2.2 和 3.2.3 的规定进行剪切。

### 4 慢剪试验 (S)

4.1 按本规程 3.2.1 的规定进行试样安装和定位。但试样上、下两的不透水板改放细钢丝布和透水钢板。

4.2 按本规程 3.3.2 的规定进行试样固结。

4.3 试样达到固结稳定后，拨除上、下剪切盒固定销并取掉开缝环。检查垂直千斤顶、水平千斤顶、百分表等，记录其读数。开动水平千斤顶，施加水平荷载，每隔 1min 测记 1 次水平百分表读数和垂直百分表读数。若 1min 内剪切变形不超过 0.01mm，则施加下一级水平荷载。起始水平荷载每级按垂直荷载的 7%—10%施加，当某级水平荷载下的剪切位移超过前一级剪切位移的 1.5—2.0 倍时，改为按 5%施加。

当水平荷载计数不再增加或剪切变形急骤增长，即认为已剪损。若无上述两种情况出现，应控制剪切变形达试样直径的  $1/5 - 1/10$ ，方可停止试验。

4.4 试验结束后，按本规程 3.2.3 的规定拆除试样，并测定其剪切后含水率与颗粒级配。

### 10.5 试验注意事项及要求

大型直剪仪水平剪切法适用于测试各类土以及岩土接触面或滑面的抗剪强度。对于碎石土，由于制样困难，精度稍差。仪器组成包括：1 水平推力部分有可调反力座、手轮、推杆及测力计（应力环）等；2 垂直加压部分有锚、横梁、手轮、测力计、同步式垂直滑道及传力盖等；3 剪力环（内径 35.69cm, 高 14cm, 面积  $1000\text{cm}^2$ ）。

仪器安装时，应使其底盘的底面与土剪切面在一个平面上，并使水平测力计、手轮和剪切面的中心在一直线上。

试验时要求：1 测力计应事先标定，试验土层应进行工程地质描述，并测定天然及含水量；2 试件先仔细削成与剪切面垂直的 35.7cm 的土柱，然后将剪切环套上徐徐下压至距预定剪切面 3~5mm 处；3 削平试件上端，安置传压板与传力盖，传压板四周与剪切环之间应有空隙；4 垂直压力一般依次为 50、100、150、200 及 250kPa 五级，通过垂直测力计测微表读数确定；5 作快剪时，当一试件的垂直压力达到预定的压力后，应立即通过水平推力手轮施加水平推力，水平推力手轮以 1r/min 匀速转动。水平测力计微表的指针停止或后退，或水平变形达到试件直径的 1/15 时，认为试件已剪坏，试验可结束。通常试件数不应少于 3 件。

水平推挤法能使被试验土体的剪切面沿土内软弱面发展，对粘聚力较小的碎石土试验效果较好。该法受试坑条件限制较小。

水平推挤法需要的主要试验设备有：装有压力表可测力计的卧式千斤顶，千斤顶头部的前枕木尺寸一盘为 8cmX32cm，厚约 5cm，千斤顶底座处的枕木尺寸可稍大一些，钢板尺寸同枕木，厚度以加力后不变形为限。

试验时要求：1 在试坑预定深度处将试验土体加工成三面垂直临空的半岛状，尺寸为  $H$  大于 5 倍最大土粒粒径， $H/B = \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ ， $L = (0.8 - 1.0) B$ （ $H$ 、 $B$ 、 $L$  分别试体的高度，宽度和长度）。试体两侧各挖约 20cm 宽的小槽，槽中放置塑料布，其上用挖出的土回填并稍加夯实；2 千斤顶的着力点对准矩形试体面的  $H/3$  与  $B/2$  处；3 水平推力以每 15~20min 内水平位移约 4mm 缓慢速度施加，当压力表读数开始下降时试体被剪坏，此时的压力表值即为最大推力  $P_{\max}$ ；4 测定  $P_{\min}$  值时，其测定标准为下列之一：（a）千斤顶加压到  $P_{\max}$  值后即停止加压，油压表读数后退所保持的稳定数值；（b）试体刚开始出现裂缝时的压力表读数；（c）当千斤顶加压到  $P_{\max}$  后，松开油阀重新加压，以其峰值作为  $P_{\min}$  值；5 确定滑动面位置，并量测滑面上各点的距离和高度，绘制滑面剖面图。当

滑面集团难确定时，可将剪坏后的试体反复加压、减压，以使剪坏与未剪坏的土体界线分明。

通过试验结果计算出各级垂直荷载下的垂直应力和剪应力，绘制出垂直应力（ $\sigma$ ）与剪应力（ $\tau_f$ ）的关系曲线，按库仑公式可确定出土体的 $c$ 和 $\varphi$ 值。

#### 10.6 试验数据记录与分析

工程地质试验数据，往往是离散的，需要进行分析 and 归纳整理，使这些数据更好地反映岩土性质和变化规律，并求出代表性指标供工程设计使用。现代地学理统计方法可以帮助解决这一问题。岩土参数统计一般应按工程地质单元及层位进行。

1 按下列公式计算垂直压力和剪应力：

$$p = \frac{p_v + \Delta p}{A}$$

$$\tau = \frac{p_h - F}{A}$$

$$p_v = C_v R_v$$

$$p_h = C_h R_h$$

式中  $p$ 、 $\tau$  - 分别为垂直压力和剪应力，kPa；

$p_v$ 、 $p_h$  - 分别为垂直荷载和水平荷载，kN；

$C_v$ 、 $C_h$  - 分别为垂直千斤顶和水平千斤顶上压力表的率定系数，kN /kPa；

$R_v$ 、 $R_h$  - 分别为垂直和水平千斤顶压力表读数，kPa；

$F$  - 某垂直压务下仪器摩擦力，kN；

$\Delta p$  - 附加垂直荷载，包括透水板、传压板和千斤顶的重力，千斤顶以上的设备重不计算在内，kN；

$A$  - 试样面积， $m^2$ 。

2 以剪应力和垂直变形为纵坐标，水平位移为横坐标，分别绘制某级垂直压力下剪应力 $\tau$ 与水平位移 $\Delta L$ 关系曲线和垂直变形 $\Delta s$ 与水平位移 $\Delta L$ 关系曲线。

3 取剪应力 $\tau$ 与水平位移 $\Delta L$ 关系曲线上峰值或稳定值作为抗剪强度。如无明显峰值，则取水平位移达到试样直径1/15 - 1/10处的剪应力作为抗剪强度 $S$ 。

4 以抗剪强度  $S$  为纵坐标，垂直压力  $P$  为横坐标，绘制抗剪强度  $S$  与垂直压力  $P$  的关系曲线。直线的倾角为粗颗粒土的内摩擦角  $\varphi$ ，直线在纵坐标轴上的截距为粗颗粒土的粘聚力  $c$ 。