

# 铁路工程土工试验规程

TB 10102—2004

J 338—2004

## 1 总 则

1.0.1 为统一铁路工程土工试验方法及技术要求，为工程设计和施工提供可靠的计算指标和参数，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于铁路工程各类地基土和填料的基本性质试验。

1.0.3 本规程试验用水，除特殊要求外均指纯水。纯水的纯度应符合电导率小于  $2\mu\text{S}/\text{m}$  或电阻率大于  $0.5\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$  的要求；试验用试剂，除特殊要求外，应符合国家标准二级品，即分析纯（A、R）及以上等级的试剂。

1.0.4 本规程试验采用的仪器、设备，应按规定进行检定或校验。

1.0.5 铁路工程土工试验除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 土样 sample

土样是指未经加工的土的样品。

#### 2.1.2 试样 specimen

试样是指按试验目的，将土样经过加工制成可供试验的样品。

#### 2.1.3 量瓶 measuring bottle

量瓶是指具有一定标准体积的测量容器，容量有 50mL、100mL 两种。以前称为比重瓶。

#### 2.1.4 动力黏度 dynamic viscosity

移动的液体中的切应力与速度梯度（流速沿高度的变化率）成正比，此比例系数  $\eta$  则称为动力黏度（或称黏滞系数），简称黏度。

#### 2.1.5 黏聚力 cohesion

当法向应力为零时，土粒间的抗剪强度，也称凝聚力、内聚力、黏着力。

#### 2.1.6 $K_{30}$ 试验 ( $K_{30}$ for coefficient of subgrade reaction test)

用直径为 30cm 的刚性承压板，测定下沉量为 1.25mm 时的地基系数的试验方法。

#### 2.1.7 动态变形模量 dynamic modulus of deformation

动态变形模量是指土体在一定大小的竖向冲击力  $F_s$  和冲击时间  $t_s$  作用下抵抗变形能力的参数。

#### 2.1.8 荷重率（荷载率） load rate

某级的荷载增量与前一级荷载总量之比。

#### 2.1.9 饱和面干密度（表干密度） saturated surface-dry density

单位体积（含材料的实体矿物成分及其闭口空隙、开口空隙等颗粒表面轮廓线所包围的全部毛体积）物质颗粒的饱和面干质量。

#### 2.1.10 毛体积密度 bulk density

单位体积（含材料的实体矿物成分及其闭口空隙、开口空隙等颗粒表面轮廓线所包围的全部毛体积）物质颗粒的干质量。

#### 2.1.11 酸碱度 acidity and alkalinity

溶液中氢离子浓度活度的负对数，即 pH 值。

### 2.2 符 号

#### 2.2.1 物理性指标

$A_t$ ——崩解量

$C_c$ ——曲率系数

$C_u$ ——不均匀系数

$C_s$ ——收缩系数

$D_r$ ——相对密度

$e$ ——孔隙比

$e_s$ ——线缩率

$e_v$ ——体缩率

$F_s$ ——自由膨胀率

$H_k$ ——毛细管水上升高度

$H_c$ ——毛细管水强烈上升高度

$I_L$ ——液性指数

$I_p$ ——塑性指数

$k$ ——渗透系数

$m$ ——土（或试样）质量

$S_r$ ——饱和度

$V_H$ ——膨胀率

$V_{HP}$ ——加荷膨胀率

$\omega$ ——含水率

$\omega_A$ ——冻土总含水率

$\omega_x$ ——吸水率

$\omega_L$ ——液限

$\omega_p$ ——塑限

$\omega_s$ ——缩限

$\omega_{opt}$ ——最优含水率

$W_u$ ——有机质含量

$a_w$ ——含水比

$\rho$ ——土的密度

$\rho_s$ ——土的颗粒密度

$\rho_w$ ——水的密度

$\rho_{dmax}$ ——最大干密度

$\rho_a$ ——毛体积密度

$\rho_b$ ——饱和面干密度

## 2.2.2 力学性指标

$A_f$ ——试样破坏时的孔隙水压力系数

$a_v$ ——压缩系数

$B$ ——孔隙水压力系数

$c$ ——黏聚力  
 $C_c$ ——压缩指数  
 $C_s$ ——回弹指数  
 $C_v$ ——固结系数  
 $E_e$ ——回弹模量  
 $E_s$ ——压缩模量  
 $E_{vd}$ ——动态变形模量  
 $K_{30}$ ——地基系数  
 $m_v$ ——体积压缩系数  
 $p_c$ ——先期固结压力  
 $p_p$ ——膨胀力  
 $p_{sh}$ ——湿陷起始压力  
 $q_u$ ——无侧限抗压强度  
 $R$ ——改良土的无侧限抗压强度  
 $S$ ——抗剪强度  
 $S_t$ ——灵敏度  
 $S_i$ ——单位沉降量  
 $S_r$ ——残余强度  
 $u$ ——孔隙水压力  
 $\delta_s$ ——湿陷系数  
 $\delta_{zs}$ ——自重湿陷系数  
 $\eta$ ——动力黏度  
 $\sigma$ ——正应力  
 $\phi$ ——内摩擦角

### 2.2.3 化学性指标

$b_B$ ——物质 B 的质量摩尔浓度  
 CEC ( $\text{NH}_4^+$ ) ——阳离子交换量  
 $DT$ ——易溶盐含量  
 $M$ ——蒙脱石含量  
 pH——酸碱度，即 pH 值

3 土样和试样制备

3.1 土样的验收与保管

3.1.1 土样验收应按下列步骤进行：

1 土样送达试验单位，必须同时提交试验委托书及其他必要的工程资料。试验委托书应写明工程名称、试坑（或钻孔）编号、土样编号、取土深度（原状土应有地下水位高程、土柱上下方向）、取样日期、试验项目、试验方法及要求等。

2 试验单位接到土样后，应按试验委托书进行验收。在清点土样时，要仔细核对土样标签上填写的土样编号、工程名称、试坑（或钻坑）编号、取样深度等是否与委托书相符，检查土样包装是否符合要求，判定土样数量和质量能否满足试验项目和试验方法的要求。各试验项目所需土样数量应符合表 3.1.1 规定。

3 验收后应进行室内编号和登记。

3.1.2 土样保管应符合下列规定：

1 土样验收后交给负责试验的人员妥善保管。应将原状土样和需要保持天然含水率的扰动土样置于阴凉处，原状土样上下方向不得倒置。从取土样之日起至开始试验的时间不宜超过 20d。

2 对含放射性和有毒物质的土样，或取自瘟疫流行区和农业病虫害流行区的土样，必须按有关行业的防护规定采取严格的防护措施。

3 试验后的剩余土样应装入原土样筒（或土样袋）内妥善保存，待试验报告提交一个月后仍无查询方可处理。若有疑问，可用余土复试。

表 3.1.1 各试验项目所需土样数量

<div>试验项目</div> <div>种类</div>	黏性土、粉土		砂类土、圆(角)砾土	
	原状土(筒)	扰动土	原状土(筒)	扰动土
	φ10cm×20cm	(g)	φ10cm×20cm	(g)
含水率		100~300		800~1000
密度	1		1	
颗粒密度		50		砂 50;砾 2000 ~10000

<div> <div>试验项目</div> <div>种类</div> </div>	黏性土、粉土		砂类土、圆(角)砾土	
	原状土(筒)	扰动土	原状土(筒)	扰动土
	$\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	(g)	$\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	(g)
颗粒分析		100~400		砂 200~500; 砾 7000
液塑限		500		
收缩	1	1000		
膨胀	2	2000		
湿化	1	1000		
毛细管水上升高度	1	1500		1500
击实		40000~50000		50000~60000
渗透	1	2000		3000~5000
固结	1	1000		
黄土湿陷	2			
三轴压缩	4	10000		15000
直接剪切	2	5000		
残余强度	2	5000		
无侧限抗压强度	1			
相对密度				3000~6000
天然坡角				5000
易溶盐		均质 500,非均质 1000		
中溶盐		均质 500,非均质 1000		
难溶盐		均质 500,非均质 1000		
有机质		均质 500,非均质 1000		
阳离子交换量		均质 500,非均质 1000		
蒙脱石		均质 500,非均质 1000		

### 3.2 扰动土试样制备

#### 3.2.1 试样制备采用的仪器设备应符合下列要求：

- 1 细筛：孔径 5、2、0.5mm。
- 2 洗筛：孔径 0.075mm。
- 3 台秤：称量 10~50kg，分度值为 10~50g。
- 4 天平：称量 1000g，分度值 0.1g；称量 200g，分度值 0.01g。
- 5 环刀：内径 61.8mm 和 79.8mm，高 20mm；内径 61.8mm，高 40mm。
- 6 击样器：如图 3.2.1—1 所示。
- 7 压样器：如图 3.2.1—2 所示。
- 8 抽气机（附真空测压表）。

9 其他：烘箱、干燥器、保湿器、研钵木碾、橡皮板、玻璃瓶、切土刀、钢丝锯、凡士林、土样标签及盛土器皿等。

### 3.2.2 扰动土试样制备应按下列步骤进行：

1 对土样的颜色、土类、气味及夹杂物等进行描述。如有需要，应将土样充分拌匀，取代表性土样测含水率。

2 将团、块状扰动土样风干后，在橡皮板上用木碾碾散（切勿破坏土粒天然结构）。

3 根据试验所需土样数量，将碾散后的土样过筛。物理性试验土样如液限、塑限、缩限等试验，过 0.5mm 筛；水理性及力学性试验土样，过 2mm 筛；击实试验土样，过 5mm 筛。筛下土样充分拌匀后，用四分对角取样法取出试验用的土样，则为制得供试验备用的扰动土试样。

4 当配制一定含水率的试样时，应取过 2mm 筛的风干土 1~5kg，按式 (3.2.6—2) 计算所需加水量。将试样平铺于搪瓷盘内，用喷雾器喷洒所需加水量充分拌匀，然后装入保湿器内浸润一昼夜备用。砂类土浸润时间可酌情缩短。

5 测定浸润后试样的含水率，与要求的含水率差值不得大于  $\pm 1\%$ ，若大于  $\pm 1\%$  时应适当减少或增加试样中的加水量。

6 对不同土层的土样制备混合试样时，应根据各土层厚度，按比例计算相应

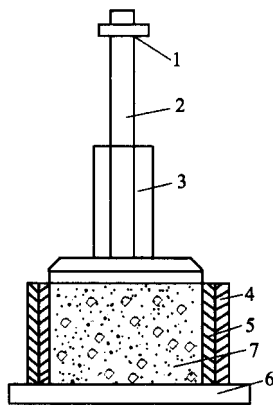


图 3.2.1—1 击样器

- 1—定位环；2—导杆；  
3—击锤；4—击样筒；5—环刀；  
6—底座；7—试样

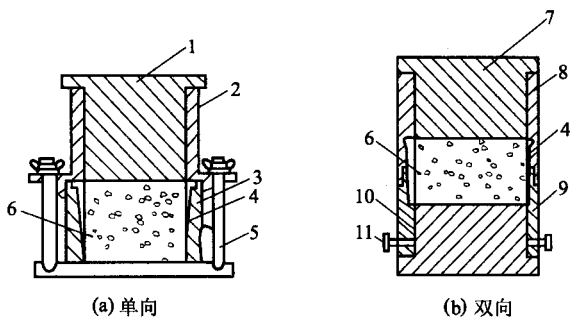


图 3.2.1—2 压样器

1—活塞；2—导筒；3—护环；4—环刀；5—拉杆；6—试样；  
7—上活塞；8—上导筒；9—下导筒；10—下活塞；11—销钉

的取土量，然后按本条第 1 至第 4 款进行制备。

7 对无黏聚性的砂类土和砾类土土样，按本条第 3 款制备试样，并用四分法取出代表性试样一部分供颗粒分析用。其余过 5mm 筛，将筛上、筛下的试样分别贮存，供作颗粒密度和最大、最小孔隙比试验用。取 5mm 筛下一部分试样再过 2mm 筛，留筛下试样供作力学性试验用。

8 当砾类土土样表面粘有黏粒时，应先用水浸泡，将泡过的土样在 2mm 筛上冲洗。然后将筛上、筛下（土浆）分别风干碾散，取一部分作颗粒大小分析用。余下的部分再按本条第 2～5 款步骤进行。

9 根据工程对试验项目的要求，将扰动土制备成所需状态试样，供水理、物理、力学等试验用。

10 试样制备数量视需要而定，一般应多制备 1～2 个备用。扰动土制成同一组试样的密度、含水率与要求的密度、含水率之差值应分别在  $\pm 0.02\text{g/cm}^3$  与  $\pm 1\%$  范围之内，且各试样之间的差值也应满足这一规定。

11 试样制备可采用击实法、击样法和压样法。

### 3.2.3 击实法应符合下列规定：

1 根据试样所要求的干密度、含水率，按式 (3.2.6—1) 和式 (3.2.6—2) 计算结果制备湿土样，然后按本规程第 20 章的击实程序将土样击实到所需的密度，用推土器推出。

2 将环刀的内壁涂一薄层凡士林，刀口向下放在土样上，用切土刀将土样削



成略大于环刀直径的土柱。边垂直下压环刀边削土柱至伸出环刀为止。

3 用钢丝锯或切土刀将环刀与土柱分离，削去两端余土并修平。擦净环刀外壁，称环刀与土总质量，准确至 0.1g。取环刀两端削下的土样测含水率。试样制备应迅速。

3.2.4 击样法应符合下列规定：

1 根据环刀容积及要求的干密度，按式（3.2.6—3）计算结果称取湿土试样。  
2 将称出的湿土试样全部倒入装有环刀的击样器内，用击实方法将试样全部击入环刀内。

3 取出带试样的环刀，称环刀和试样总质量，准确到 0.1g。

3.2.5 压样法应符合下列规定：

1 按第 3.2.4 条第 1 款要求计算称取所需湿土试样质量，将湿土试样倒入装有环刀的压样器内，以静压力将试样全部压入环刀内。

2 取出环刀，称环刀和试样总质量，准确至 0.1g。

3.2.6 扰动土试样制备应按下列公式计算：

1 干土质量

$$m_d = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} \quad (3.2.6-1)$$

式中  $m_d$ ——干土质量 (g)；

$m_0$ ——湿土（或风干土）质量 (g)；

$w_0$ ——湿土（或风干土）含水率 (%)。

2 制备试样所需加水量

$$m_d = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} \times 0.01 (w_1 - w_0) \quad (3.2.6-2)$$

式中  $m_w$ ——试样所需加水量 (g)；

$w_1$ ——试样所要求的含水率 (%)。

3 制备试样所需湿土质量

$$m_0 = (1 + 0.01w_0) \rho_d V \quad (3.2.6-3)$$

式中  $\rho_d$ ——试样干密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$V$ ——试样体积（环刀容积）(cm<sup>3</sup>)。

4 制备试样应增加的水量

$$\Delta m_w = 0.01 \left( w_1 - w_0 \right) \rho_d V \qquad (3.2.6-4)$$

式中  $\Delta m_w$ ——制备试样应增加的水量 (g)。

3.2.7 扰动土试样制备记录格式应符合表 3.2.7 的要求。

表 3.2.7 扰动土试样制备记录

试样 编号	制备标准		计算所需土质量 及加水质量						试 样 制 备								与制备 标准之差	
	含水率	干密度	试样 体积	干土 质量	风干或天然 含水率	风干或天然 状态土质量	加水 质量	湿土 质量	制备 方法	环刀与湿土 质量	环刀 质量	湿土 质量	环刀 体积	湿土 密度	含水量	干土 密度	含水率	干密度
	(%)	(g/ cm <sup>3</sup> )	(g/ cm <sup>3</sup> )	(g)	(%)	(g)	(g)	(g)		(g)	(g)	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日 试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

3.3 原状土试样制备

3.3.1 根据力学试验项目要求，制备同一组试样的密度差值不应大于 0.03g/cm<sup>3</sup>，含水率差值不应大于 2%。

3.3.2 原状土试样制备应按下列步骤进行：

- 1 将土样筒按标明的上、下方向放置，剥去蜡皮和胶带，开启土样筒取出土样。检查土样情况，当确定土样已扰动或取土质量不符合规定（如土样结构受到破坏、土样直径小于制样要求尺寸等）时，不应制备力学试验的试样。
- 2 制备直接剪切的试样，应将土样上、下方向颠倒放置，其他力学试验项目制样切土方向应与土样的天然沉积方向一致。
- 3 按本规程第 3.2.3 条第 2～3 款步骤切削土样。切削过程中应细心观察土样

的情况，并描述试样的层次、气味、颜色、有无夹杂物，土质是否均匀等。

4 切取软塑的细粒土，土样竖直放置易产生堆瘫时，可将土样水平放置，切成略大于环刀高度的土样段，用环刀一次压入制成试样。

5 切取试样后剩余的原状土样，应装入原筒并在周围用碎土填紧，或用蜡纸包好放在保湿器内，以备补作试验时用。对切好的试样，如不立即进行试验和无需饱和，则应将试样暂存于保湿器内。

### 3.4 化学分析试样制备

3.4.1 pH 值与易溶盐试验用的试样制备应按下列步骤进行：

将潮湿的土样捏碎摊开于瓷盘中，弃除土中植物根、茎及其他杂物，置于阴凉通风处晾干。风干后用木棒或橡皮锤敲击胶结团核使其分散（注意不得破坏土的天然颗粒），拌和均匀后用四分法取 300g，过 2mm 筛，称筛上剩余颗粒的质量后弃去，并计算其占总试样质量百分数。2mm 筛下的试样用研钵充分研碎使全部通过 1mm 筛（不得撒失）混合均匀，贮于广口瓶中备用。

3.4.2 中溶盐、难溶盐和有机质试验用的试样制备应按下列步骤进行：

将潮湿土样捏碎摊开置于瓷盘中，除去土中植物根、茎、叶及其他夹杂物，放在阴凉通风处晾干。风干后拌和均匀，用四分法取平均试样约 100g，用玛瑙研钵彻底研细，使全部通过孔径 0.15mm 筛（不得撒失）混合均匀后贮于广口瓶中备用。

3.4.3 蒙脱石和阳离子交换量试验用的试样制备应按下列步骤进行：

土样处理同第 3.4.2 条，用四分法取风干拌匀的试样 100g，在玛瑙研钵中研细，使全部通过孔径 0.25mm 筛（不得撒失）混合均匀贮于广口瓶中备用。

用以上方法制得的试样均为风干土试样，化学分析前应按本规程第 4.2 节测定风干土含水率。

### 3.5 试样饱和

3.5.1 试样饱和宜根据土样的透水性能，可分别采用下列方法：

1 砂类土可直接在仪器内浸水饱和。

2 渗透系数大于  $10^{-4}$  cm/s 的较易透水的黏性土，可采用毛细管饱和法；渗透系数小于  $10^{-4}$  cm/s 的黏性土，可采用真空饱和法，但土的结构性较差，抽气可能发生试样扰动者不宜采用。

3.5.2 毛细管饱和法应符合下列规定：

1 选用框架式饱和器（图 3.5.2），在装有试样的环刀两面贴放滤纸和直径略大于环刀的透水石，装入饱和器内，旋紧固定螺母。

2 将装好试样的饱和器放入水箱中，注清水入箱，水面不宜将试样淹没，使土中气体得以排出。

3 关上箱盖，防止水分蒸发，借土的毛细管作用使试样饱和，饱和时间约需 3d。

4 取出饱和器，松开螺丝，取出环刀，擦干外壁，吸去试样表面积水，取下试样上、下滤纸，称环刀和试样的总质量，准确至 0.1g，并计算试样的饱和度。如果饱和度小于 95% 时，应按本条第 1~3 款继续进行饱和。

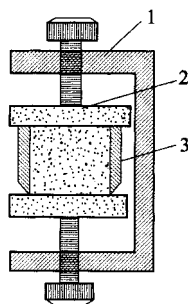


图 3.5.2 框架式饱和器

1—夹板；2—透水石；3—环刀

### 3.5.3 真空饱和法应符合下列规定：

1 选用重叠式饱和器（图 3.5.3—1）或框架式饱和器（图 3.5.2）和真空饱和装置（图 3.5.3—2）。在重叠式饱和器下夹板的正中，依次放置透水石、滤纸、带试样的环刀、滤纸、透水石，如此顺序重复，由下向上重叠到拉杆高度，将饱和器上夹板盖好后，拧紧拉杆上端的螺丝，将各个环刀在上、下夹板间夹紧。

2 将装有试样的饱和器放入真空缸内，真空缸和盖之间应涂一层凡士林以防漏气。

3 关闭管夹，打开二通阀，将真空缸与抽气机接通，开动抽气机，当真空压力表读数接近  $-100\text{kPa}$  后，继续抽气不少于 1h。然后开启管夹，使清水由引水管徐徐注入真空缸内。在注水过程中，应调节管夹，使真空压力表上的数值基本保持不变。

4 待饱和器完全被水淹没后停止抽气，将引水管自水缸中提出，使空气由引水管进入真空缸内，静置一定时间，借大气压力使试样饱和。

5 取出带环刀的试样，称环刀和土总质量，准确至 0.1g，并计算饱和度。如饱和度小于 95%，应继续进行饱和。

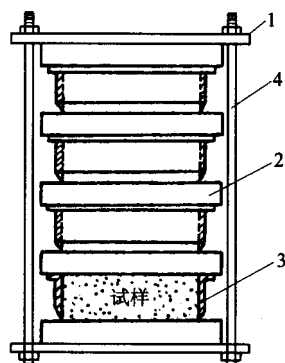


图 3.5.3—1 重叠式饱和器

1—夹板；2—透水板；  
3—环刀；4—拉杆

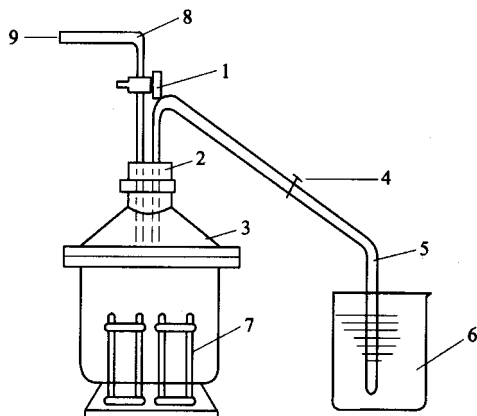


图 3.5.3—2 真空饱和装置

1—二通阀；2—橡皮塞；3—真空缸；4—管夹；5—引水管；  
6—水缸；7—重叠式饱和器；8—排气管；9—接抽气机

3.5.4 试样的饱和度应按下式计算：

$$S_r = \frac{w_{sr} \rho_s}{e \rho_w} \quad (3.5.4)$$

式中  $S_r$ ——试样的饱和度 (%)；

$w_{sr}$ ——试样饱和后的含水率 (%)；

$\rho_s$ ——土的颗粒密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )；

$e$ ——试样的孔隙比；

$\rho_w$ ——水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

## 4 含水率试验

### 4.1 一般规定

4.1.1 土的含水率是土在  $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$  温度下烘至恒量时所失去水的质量与恒量后干土质量的比值，以百分数表示。

4.1.2 本试验以烘干法为测定含水率的标准方法，适用于各类土。当需要快速测定含水率时，可依土的性质和工程情况分别选用下列方法：

- 1 酒精燃烧法：适用于不含有机质的砂类土、粉土和黏性土。
- 2 碳化钙减量法：适用于各类土。

- 3 核子射线法：适用于现场原位测定填料为细粒土和砂类土的含水率。
- 4.1.3 烘干法测定含水率，当土中有机质含量即灼失量超过 5%或土中含石膏和硫酸盐时，应控制温度在 65℃~70℃将试样烘至恒量。

4.2 烘干法

4.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 电热干燥箱：应能控制温度为 105℃~110℃。
- 2 真空干燥箱：应能控制温度为 65℃~70℃。
- 3 天平：称量 200g，分度值 0.01g；称量 1000g，分度值 0.2g。
- 4 称量盒：直径 50 mm，高 30 mm；长 200 mm，宽 100mm，高 40mm，可采用等质量称量盒。
- 5 干燥箱：内用硅胶干燥剂。

4.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 根据不同土类按表 4.2.2 确定称取代表性试样质量，放入称量盒内，立即盖好盒盖，将盒外附着的土擦净后称量。称量时可在天平放砝码的盘内放上等质量的称量盒，即可直接称得湿土质量。

表 4.2.2 烘干法测定含水率所需试样质量

按《铁路路基设计规范》填料分类	按《铁路工程岩土分类标准》分类	取试样质量(g)
细粒土	粉土、黏性土	15~30
粗粒土	砂类土、有机土	30~50
	圆砾或角砾	250~500
碎石类土	碎石类土	500~1000

- 2 打开盒盖，将装有试样的称量盒放入烘箱，在 105℃~ 110℃温度下烘干。烘干时间对粉土、黏性土不少于 8h；砂类土不少于 6h；砾、碎石类土不少于 4h。
- 3 将称量盒从烘箱中取出，盖上盒盖，放入干燥器中冷却至室温，称干土质量。
- 4 本试验称量小于 200g，准确至 0.01g；称量大于 200g，准确至 0.2g。
- 5 对含有机质大于 5%的土，烘干温度应控制 65℃~70℃，在真空干燥箱中烘 7h 或在电热干燥箱中烘 18h。

4.2.3 试验结果应按下式计算：

$$w=\left(\frac{m_0}{m_d}-1\right)\times 100 \quad (4.2.3)$$

式中  $w$ ——含水率（%），计算至 0.1%；

$m_d$ ——干试样质量（g）；

$m_0$ ——湿试样质量（g）。

4.2.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值应符合表 4.2.4 的规定，取其算术平均值。

表 4.2.4 含水率测定允许差

土的类别	含水率平行差值(%)		
	$w\leqslant 10$	$10<w\leqslant 40$	$w>40$
砂类土、有机土、粉土、黏性土	0.5	1.0	2.0
碎石土	1.0	2.0	—

4.2.5 记录格式应符合表 4.2.5 的要求。

表 4.2.5 烘干法含水率试验记录

试样 编号	称量 盒号	湿土质量(g)	干土质量(g)	含水率(%)	平均含水率(%)	备注
		(1)	(2)	$\left(\frac{(1)}{(2)}-1\right)\times 100$		

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日 4.3 酒精燃烧法

4.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 200g，分度值 0.01g。
- 2 酒精：浓度 95%。
- 3 其他：干燥器、等质量的称量盒、滴管、火柴等。

4.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 取代表性试样（黏性土 5~10g，砂类土 20~30g），放入称量盒内，按本规程第 4.2.2 条第 1 款称得湿土质量。

2 打开盒盖，用滴管将浓度为 95% 的酒精滴入盒内，直至试样表面出现自由液面。将盒底在桌面上轻轻敲击，使酒精浸透全部试样，然后点燃盒中酒精，直烧至火焰熄灭。

3 冷却约 1min 后，再按本条第 2 款重复操作。黏性土应烧 4 次，砂类土应烧 3 次。

4 待最后一次燃烧火焰熄灭后，盖上盒盖，在干燥器中冷却至室温，立即称干土质量。

5 本试验称量应准确至 0.01g。

4.3.3 本试验结果应按本规程式 (4.2.3) 计算。

4.3.4 本试验允许差应符合本规程第 4.2.4 条的规定。

4.3.5 本试验记录格式应符合本规程表 4.2.5 的要求。

4.4 碳化钙减量法

4.4.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 200g 或 1000g，分度值 0.01g。
- 2 反应容器：采用烧杯或蒸发皿时用玻璃棒当研杵；采用搪瓷容器时用塑料棒当研杵。
- 3 碳化钙（电石）粉末：粒径应小于 0.5mm。
- 4 其他设备：玻璃表面皿、毛刷、勺子。

4.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 用已知质量的反应容器（带研杵）在天平上按表 4.2.2 依不同土类确定称取试样质量，准确至 0.01g。
- 2 用表面皿在天平上称取碳化钙粉末，其用量按表 4.4.2 确定，准确至 0.01g。

表 4.4.2 按估计试样含水率和取样量确定碳化钙的用量

估计的试样含水率(%)	3	7	11	15	20	25	30	36	42
经验倍数值 <i>n</i>	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
碳化钙粉末用量(g)	试验时称取试样质量 $m \times n$								

3 将称取的碳化钙粉末全部倒入已盛有试样的反应容器中（不得撒失），然后



用研杵充分研磨（捣碎泥球、结块）约 3~5min，彻底均匀混合后，称取混合物及反应容器和研杵的总质量，取下再研磨 1~2min，再称量，如此重复，直至相邻两次称量之差不大于 0.01g，则认为反应完毕，试验即告结束。

4.4.3 试验结果应按下式计算：

$$\omega = \frac{m_{C_2H_2} \times 1.385}{m - m_{C_2H_2} \times 1.385} \times 100 \tag{4.4.3}$$
$$m_{C_2H_2} = m_A - m_B$$

式中  $\omega$ ——含水率（%），计算至 0.1%；

$m$ ——称取湿土试样的质量（g）；

$m_{C_2H_2}$ ——产生乙炔气体的质量（g），计算至 0.01g；

$m_A$ ——反应前试样加碳化钙粉末和反应容器（带研杵）的总质量（g）；

$m_B$ ——反应后混合物和反应容器（带研杵）的总质量（g）；

1.385——（ $2H_2O/C_2H_2$ ）的换算因数。

4.4.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值应符合本规程表 4.2.4 的规定，取算术平均值。

4.4.5 记录格式应符合表 4.4.5 的要求。

表 4.4.5 碳化钙减量法含水率试验记录

试样 编号	反应容器 与研杵的 质量(g)	反应前		反应后	$m_{C_2H_2}$ 的 质量(g)	试验结果	
		湿土样质量 (g)	碳化钙粉末 质量(g)	混合物的 质量(g)		含水率	平均值
						(%)	(%)

复核\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

4.5 核子射线法

4.5.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 主机：由放射源、探测器、微处理器、测深定位装置等组成，见图 4.5.1 所示。

1) 放射源：铯 137— $\gamma$  源，辐射活性  $3.7 \times 10^8$  Bq；镅 241/铍中子源，辐射活性  $1.85 \times 10^9$  Bq。

2) 探测器：盖革—密勒计数管，接收  $\gamma$  射线；氦-3 探测管，接收中子射线。

3) 微处理器：将探测器接收到的射线信号转换成数据，并经运算后显示检测结果。

4) 测深定位装置：将放射源定位到预定的测试深度。

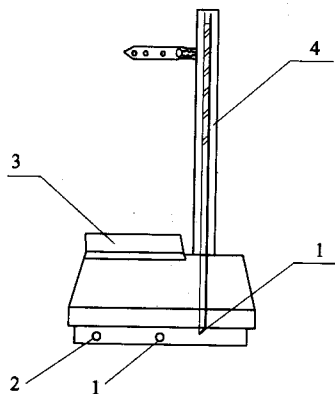


图 4.5.1 核子湿度密度仪示意

1—放射源；2—探测器；3—微处理器；4—测深定位装置

2 附件：标准块、导板、钻杆、充电器。

3 技术指标：

1) 测量范围：含水量  $0 \sim 0.64\text{g}/\text{m}^3$ ；密度  $1.12 \sim 2.73\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2) 准确度：含水量  $\pm 0.004\text{g}/\text{m}^3$ ；密度  $\pm 0.004\text{g}/\text{cm}^3$ 。

4 计量检定应按《核子湿度密度测试仪检定规程》(JJG 128—91) 进行，检定周期为两年。

4.5.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 标准计数或统计试验：将标准块放在坚硬的材质表面，按规定将仪器放置在标准块上，仪器手柄设置在安全位置。周围 10m 以内无其他放射源，3m 以内的地面上不应堆放其他材料。按下启动键，开始进行标准计数或统计试验。操作人员应退到离仪器 2m 以外区域。当仪器发出结束信号后，检查含水量、密度的标准计数或统计分析结果，如果其数值在规定的范围内，即可开始检测。

2 输入设定参数：

1) 测量计数时间（不宜小于 30s）；

2) 选择计量单位  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{cm}^3$ ；

3) 密度、含水量的偏移量，当无偏移量时输入“0”；

4) 测点记录号。

3 平整被测材料表面，必要时可用少量细粉颗粒铺平，然后用导板和钻杆造孔。孔深必须大于测试深度，孔应垂直；孔壁光滑，不得坍塌。如被测材料不便于造孔，可采用反射法进行检测。

4 按规定将仪器就位，并将放射源定位到预定的测试深度，按下启动键开始测试，操作人员退到离仪器 2m 以外的区域。

5 当仪器发出测试结束信号后，将放射源退回到安全位置，并储存或记录检测结果。

6 当被测材料中含有硼、氘等吸收中子的元素或非自由水氢元素时，其检测结果应用烘干法求出偏移量进行校正。

7 在基坑边缘或沟中测试时，仪器的侧面与坑壁的距离不宜小于 0.6m；采用特殊补偿功能对测试结果进行校正的不受距离的限制。

**4.5.3 试验结果应按下式计算：**

$$w = \frac{\rho_{sw} - \rho_d}{\rho - \rho_{sw}} \times 100\% \quad (4.5.3)$$

式中  $w$ ——含水率（%），计算至 0.1%；

$\rho_d$ ——干密度（g/cm<sup>3</sup>）；

$\rho$ ——湿密度（g/cm<sup>3</sup>）；

$\rho_{sw}$ ——含水量（单位体积土中水的质量）（g/cm<sup>3</sup>）。

**4.5.4 试验允许差应符合下列规定：**

本试验在同一测点，仪器在初始位置进行第一次读数，然后将仪器绕测孔旋转 180°进行第二次读数，当允许平行差值符合本规程第 4.2.4 条的规定，试验结果取两次读数的平均值。如果两次测定的平行差值超过允许差值，则应将仪器再旋转到 90°和 270°的位置进行两次读数，取其四次读数的算术平均值。

**4.5.5 记录格式应符合表 4.5.5 的要求。**

表 4.5.5 核子射线法测定含水率和密度记录表

测试日期	里程	填筑高度(m)	测点位置	测点编号	读数次数	湿密度(g/cm³)		干密度(g/cm³)		含水率(%)	
						读数	平均	读数	平均	读数	平均
					1						
					2						
					3						
					4						

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

5 密度试验

5.1 一般规定

- 5.1.1 土的密度是土的单位体积质量。
- 5.1.2 本试验的目的是测定土的密度，用于计算土的干密度，孔隙比、孔隙度、饱和度等指标。
- 5.1.3 本试验应根据土类别采用下列方法：
  - 1 环刀法适用于粉土和黏性土。
  - 2 蜡封法适用于环刀难以切削并易碎裂的土。
  - 3 灌砂法、气囊法适用于现场测定最大粒径小于 20mm 的土的密度。
  - 4 灌水法适用于现场测定最大粒径小于 60mm 的土的密度。
  - 5 核子射线法适用于现场测定填料为细粒土、砂类土的压实密度。

5.2 环 刀 法

- 5.2.1 本试验应采用下列仪器设备：
  - 1 环刀：内径 61.8mm~79.8mm，高 20mm。
  - 2 天平：称量 500g，分度值 0.1g；称量 200g，分度值 0.01g。
  - 3 其他：切土刀、钢丝锯、直尺、凡士林等。
- 5.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

本试验应按工程需要取原状土或扰动土制备击实试样，试样切削和称量按本规程第 3.2.3 条第 2~3 款规定进行。称量试样时，可在天平放法码一端放一等质量环刀，直接称出湿土质量，准确至 0.1g。

5.2.3 试验结果应按下列公式计算：

$$\rho=\frac{m_0}{V}$$
 (5.2.3—1)

$$\rho_d=\frac{\rho}{1+0.01w}$$
 (5.2.3—2)

式中  $\rho$ ——试样的湿密度 (g/cm<sup>3</sup>)，计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_d$ ——试样的干密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$m_0$ ——湿试样质量 (g)；

$V$ ——环刀容积 (cm<sup>3</sup>)；

$w$ ——试样含水率 (%)。

5.2.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值不得大于 0.03g/cm<sup>3</sup>，取算术平均值。

5.2.5 记录格式应符合表 5.2.5 的要求。

表 5.2.5 环刀法密度试验记录

试样 编号	环刀 号	湿土质量 (g)	环刀体积 (cm <sup>3</sup> )	湿密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	干密度(g/cm <sup>3</sup> )	平均干密度 (g/cm <sup>3</sup> )
		(1)	(2)	(3)= $\frac{(1)}{(2)}$	(4)	(5)= $\frac{(3)}{1+0.01(4)}$	(6)

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

5.3 蜡 封 法

5.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 500g，分度值 0.1g。
- 2 其他：切土刀、石蜡、烧杯、温度计、细线、针及熔蜡加热器等。

5.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 切取约 30cm<sup>3</sup> 的代表性试样，削去表面浮松土及尖锐棱角，系于细线上称其质量，准确至 0.1g，并取切削余土测定含水率。

2 持线将试样缓缓浸入刚过熔点的蜡液中，待全部浸没后立即提出。仔细检查试样四周的蜡膜上有无气泡存在。若有气泡应用热针刺破，并涂平孔口。待冷却后，称蜡封试样在空气中的质量，准确至 0.1g。

3 持线将蜡封试样吊在天平一端，浸没于烧杯中的水中（如图 5.3.2），且勿与杯壁接触，称蜡封试样在水中的质量，准确至 0.1g，并测记水的温度，准确至 1℃。

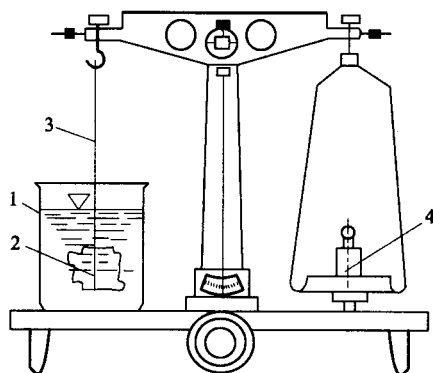


图 5.3.2 蜡封法密度测定示意

1—盛水杯；2—蜡封试样；3—细线；4—砝码

4 取出试样，擦干表面水分后再称一次质量。与第一次所称质量相比较，若质量增加，则证明试样中有水浸入，应另取试样重作试验。

5 当用电子天平或电子秤测定时，先将盛水的烧杯放在称盘上，当显示稳定后，按清零键。再将蜡封试样吊在固定支架上浸没于水中，勿与杯壁接触，称量，准确至 0.1g。该质量即为蜡封试样排开液体的质量。

5.3.3 试验结果应按下列公式计算：

1 采用吊盘天平测定时

$$\rho = \frac{m_0}{\frac{m_n - m_{nw}}{\rho_{wT}} - \frac{m_n - m_0}{\rho_0}} \quad (5.3.3-1)$$

式中  $m_n$ ——蜡封试样质量 (g)；

$m_{nw}$ ——蜡封试样在水中的质量 (g)；

$\rho_{wT}$ ——纯水在 T℃时的密度 (g/cm<sup>3</sup>)，查表 7.3.4—3；

$\rho_n$ ——蜡的密度 ( $\approx 0.92\text{g/cm}^3$ )。

## 2 采用用电子天平测定时

$$\rho = \frac{m_0}{\frac{m_{\text{nf}}}{\rho_{\text{wT}}} - \frac{m_{\text{n}} - m_0}{\rho_0}} \quad (5.3.3-2)$$

式中  $m_{mf}$ ——封试样排开水的质量 (g)。

3 试样的干密度按本规程式 (5.2.3—2) 计算。

**5.3.4** 本试验应进行平行测定，平行测定的差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取算术平均值。

**5.3.5** 记录格式应符合表 5.3.5 的要求。

### 5.4 灌砂法

**5.4.1** 本试验应采用下列仪器设备:

1 密度测定器：由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成，如图 5.4.1 所示。容砂瓶的容积为 4L；灌砂漏斗高 135mm、直径 165mm、颈部有孔径为 13mm 的圆柱形阀门；容砂瓶和灌砂漏斗之间用螺纹接头联接。底盘承托灌砂漏斗和容砂瓶。

2 天平：称量 10kg，分度值 5g；称量 500g，分度值 0.1g。

3 土样筛：孔径 0.25、0.50mm。

4 其他：小铁锹、小铁铲、盛土容器等。

**5.4.2 标准砂密度的测定应按下列步骤进行:**

1 标准砂宜选用粒径为 0.25~0.50mm, 密度为 1.47~1.61g/cm<sup>3</sup> 的洁净干燥砂。

表 5.3.5 蜡封法密度试验记录 (蜡密度  $\rho=0.92\text{g/cm}^3$ )

[illegible]

试样 编号	试样 质量 (g)	蜡封试 样质量 (g)	蜡封试样 在水中的质量 (g)	水温 (℃)	水的密度 (g/cm <sup>3</sup> )	蜡封试样 体积 (cm <sup>3</sup> )	蜡体积 (cm <sup>3</sup> )	试样体积 (cm <sup>3</sup> )	湿密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水性 (%)	干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均 干密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
							$\frac{(2)-(3)}{(4)}$	$\frac{(2)-(1)}{\rho_w}$	(5)－(6)	$\frac{(1)}{(7)}$		$\frac{(8)}{1+0.01(9)}$

复核\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

2 将容砂瓶与灌砂漏斗经螺纹接头接紧，并作以标记，以后每次拆卸再衔接时都要接在这一位置。称组装好的密度测定器的质量 ( $m_{r1}$ )，准确至 5g。

3 将干燥的密度测定器竖立（灌砂漏斗口向上）在工作台上，打开阀门，往密度测定器内注水，直至水面高出阀门，关闭阀门，倒掉漏斗中多余的水，称注满水的密度测定器总质量 ( $m_{r2}$ )，准确至 5g，同时测定水温，准确至 0.5℃。再重复测定两次，将三次测值之间的差值换算为该温度下水的体积不得大于 3mL，取三次测定值的平均值。

4 将干燥的密度测定器竖立（灌砂漏斗口向上）在工作台上，关阀门，向漏斗中灌满标准砂。打开阀门使漏斗中的砂漏入容砂瓶内，边漏边继续向漏斗中补充砂，当标准砂停止流动时迅速关闭阀门。倒掉漏斗内多余的砂，称灌满标准砂的密度测定器总质量 ( $m_{r3}$ )，准确至 5g。测定过程中应避免震动。

5 容砂瓶容积按下式计算：

$$V_r = (m_{r2} - m_{r1}) / \rho_{wT} \tag{5.4.2-1}$$

式中  $V_r$ ——容砂瓶容积 (cm<sup>3</sup>)；

$m_{r2}$ ——注满水的密度测定器的总质量 (g)；



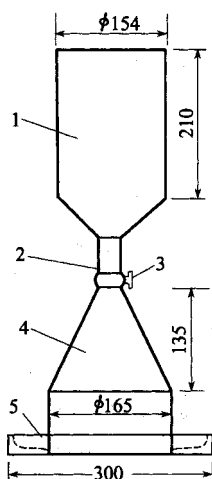


图 5.4.1 密度测定器

1—容砂瓶；2—螺纹接头；

3—阀门；4—灌砂漏斗；5—底盘

$m_{r1}$ ——密度测定器的质量 (g)。

6 标准砂的密度按下式计算：

$$\rho_{sr} = \frac{m_{r3} - m_{r1}}{V_r} \quad (5.4.2-2)$$

式中  $\rho_{sr}$ ——标准砂的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )；计算至  $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。

$m_{r3}$ ——灌满标准砂的密度测定器的总质量 (g)。

5.4.3 测定灌满灌砂漏斗所需标准砂的质量应按下列步骤进行：

1 按本章第 5.4.2 条第 4 款方法将标准砂灌满容砂瓶，并称取灌满标准砂的密度测定器的总质量 ( $m_{r3}$ )。

2 将灌满标准砂的密度测定器倒置（即灌砂漏斗口向下）在一洁净的平面上，打开阀门，直至砂停止流动。

3 迅速关闭阀门，称取剩余标准砂和密度测定器的总质量，计算流失的标准砂的质量，该流失量即为灌满漏斗所需标准砂的质量 ( $m_{r4}$ )。

4 重复上述步骤三次，取其平均值。

5.4.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 按土的最大粒径不大于 20mm 的要求选定试坑位置，将试坑位置的地面铲

平，其面积略大于试坑直径 150mm，按试坑直径划出坑口轮廓线，在轮廓线内下挖至要求深度 200mm 处，边挖边将挖出的土放入盛土容器内，称土的质量，准确至 10g，然后取代表性土样测定含水率。

2 向容砂瓶内灌满标准砂，关阀门，称灌满标准砂的密度测定器的总质量，准确至 5g。

3 将密度测定器倒置（灌砂漏斗口向下）于挖好的坑口上，打开阀门，使密度测定器内的标准砂流入坑内，当密度测定器内标准砂停止流动时关闭阀门。

4 称密度测定器和剩余标准砂的质量  $m_{r5}$ ，准确至 5g，并计算灌满试坑所用标准砂的质量（ $m_{sr}=m_{r3}-m_{r4}-m_{r5}$ ）。

5.4.5 试验结果应按下列公式计算：

$$\rho=\frac{m_p}{\frac{m_{sr}}{\rho_{sr}}} \tag{5.4.5—1}$$

$$\rho_d=\frac{\frac{m_p}{1+0.01w_0}}{\frac{m_{sr}}{\rho_{sr}}} \tag{5.4.5—2}$$

式中  $m_{sr}$ ——灌满试坑所用标准砂的质量（g）；  
 $m_p$ ——取自试坑内土的质量（g）。

5.4.6 记录格式应符合表 5.4.6 的要求。

表 5.4.6 灌砂法密度试验记录

试坑编号			测定
灌满标准砂的密度测定器总质量(g)	(1)		
灌砂漏斗所需标准砂的质量(g)	(2)		
密度测定器和剩余标准砂的质量(g)	(3)		
灌满试坑所用标准砂的质量(g)	(4)	(4)=(1)－(2)－(3)	
标准砂密度(g/cm³)	(5)		
试坑体积(cm³)	(6)	(6)=(4)/(5)	
土和容器质量(g)	(7)		
容器质量(g)	(8)		
土的质量(g)	(9)	(9)=(7)－(8)	

土的密度(g/cm³)	(10)	(10)=(9)/(6)	
土的含水率(%)	(11)		
土的干密度(g/cm³)	(12)	(12)=(10)/[1+0.01(11)]	

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

5.5 灌 水 法

5.5.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 储水筒：直径应均匀，并附有刻度及出水管。
- 2 台秤：称量 50kg，分度值 10g。
- 3 塑料薄膜袋：由聚氯乙烯塑料薄膜制成。
- 4 其他：盛土容器、水准尺、钢卷尺、挖土工具等。

5.5.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 在选定的试坑位置处铲平略大于试坑直径的地面，并根据土的最大粒径，按表 5.5.2 确定试坑尺寸。
- 2 按确定的试坑直径划出坑口轮廓线，在轮廓线内下挖至要求深度。边挖边将坑内的试样装入盛土容器内，称土的质量，准确至 10g，并取代表性土样测定含水率。

表 5.5.2 试坑尺寸

试样最大粒径(mm)	试 坑 尺 寸 (mm)	
	直 径	深 度
5～20	150	200
40	200	250
60	250	300

- 3 试坑挖好后，将略大于试坑容积的塑料薄膜袋沿坑底、坑壁紧密相贴，到地面后翻开袋口，袋口周围用重物压牢固定。
- 4 记录储水筒内初始水位高度，打开储水筒的注水管，让水缓缓流入坑内塑料薄膜袋内。当袋内水面上升到接近坑口地面时将水流调小，待水面与坑口地面齐平时立即关闭注水管，持续 3～5min，记录储水筒内水位的高度。如袋内出现水面下降时，应另取塑料薄膜袋重做试验。

5.5.3 试验结果应按下列公式计算：

$$\rho=\frac{m_p}{V_p} \tag{5.5.3—1}$$

$$V_p= (H_1-H_2) \cdot A_w \tag{5.5.3—2}$$

式中  $V_p$ ——试坑体积 (cm<sup>3</sup>)；  
 $H_1$ ——储水筒内初始水位高度 (cm)；  
 $H_2$ ——储水筒内注水终止时水位高度 (cm)；  
 $A_w$ ——储水筒断面积 (cm<sup>2</sup>)；

5.5.4 记录格式应符合表 5.5.4 的要求。

表 5.5.4 灌水法密度试验记录

试样编号	试坑编号	储水筒水位 (cm)		储水筒断面积 (cm <sup>2</sup> )	试坑体积 (cm <sup>3</sup> )	土的质量 (g)	土的含水率 (%)	土的湿密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均值 (g/cm <sup>3</sup> )	平均干密度 (g/cm <sup>3</sup> )
		初始	终止							
		(1)	(2)	(3)	(4)=[(2)－(1)]×(3)	(5)	(6)	(7)= $\frac{(5)}{(4)}$	(8)	(9)= $\frac{(8)}{1+0.01(6)}$

复核 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日      试验 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日 . 7

## 5.6 气 囊 法

5.6.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 气囊式容积测定仪：仪器主要由气囊、缸筒、活塞、空心活塞杆、球囊、水位管、数显测尺、护坑环组成，如图 5.6.1 所示。仪器各部件应符合下列要求：
  - 气囊应有弹性，壁厚不大于 0.3mm，直径和容积不小于试坑直径和体积。
  - 缺筒容积不小于 5L。
  - 水位管长度不小于 650mm。
  - 50%的氯化锌水溶液，密度不小于 1.5g/cm<sup>3</sup>。
  - 数显测尺最小分度值 0.01mm。
- 台秤：称量 10kg，分度值 5g。

3 挖土工具：凿子、锤子、勺子、半圆土铲、毛刷等。

4 其他：盛土容器、钢卷尺等。

### 5.6.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 清扫场地，护坑环置于试坑位置。

2 仪器置于护坑环上，并用压块固定。

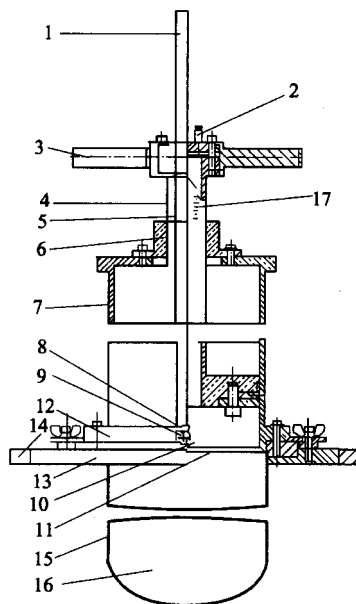


图 5.6.1 气囊式容积测定仪

1—水位标线；2—排气阀；3—封盖及手柄；4—活塞杆；5—水位管；

6—导向盘；7—缸筒；8—球囊；9—水溶液；10—活塞；11—隔栅；

12—压盘；13—护坑环；14—踏板；15—气囊；16—压缩空气；17—数显测尺

3 打开排气阀，将测尺游标推至缸筒顶面，活塞提到缸筒顶端。

4 关上排气阀，慢慢向下推动活塞，直到水位管中溶液水柱升至水位标线。

读取数显测尺初始数显数值 ( $L_1$ ) 并做记录。

5 提起活塞，使水柱退回零位，松开固定压块，移走仪器。

6 试坑开挖和试样称量按本章第 5.5.2 条第 1~2 款的规定进行。

7 仪器重新置于护坑环上并固定，将测尺游标重新推至缸筒顶面，慢慢地向下推动活塞，直到溶液水柱升至水位标线，读取数显测尺终止数显数值 ( $L_2$ ) 并

做记录。

8 当坑壁与大气温差较大时，气囊在坑内停留时间不宜超过 3min。

5.6.3 试验结果应按下列公式计算：

$$\rho=\frac{m_p}{V_p}$$
 (5.6.3—1)

$$V_p=A_g\cdot (L_2-L_1)$$
 (5.6.3—2)

式中  $A_g$ ——容积仪常数 (cm<sup>3</sup>/mm)；  
 $L_1$ ——数显测尺初始读数 (mm)；  
 $L_2$ ——数显测尺终止读数 (mm)。

5.6.4 记录格式应符合表 5.6.4 的要求。

表 5.6.4 气囊法密度试验记录

容积仪常数  $A_g$ =            cm<sup>3</sup>/mm

试坑 编号	试样 编号	数显测尺读数 (mm)			试坑 体积 (cm <sup>3</sup> )	试样 质量 (g)	试样湿 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	试样干 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均 干密度 (g/cm <sup>3</sup> )
		初 始	终 止	读数差						
		(1)	(2)	(3)= (2)－(1)	(4)= $A_g\cdot (3)$	(5)	(6)= (5)/(4)	(7)	(8)= $\frac{(6)}{1+\frac{(7)}{100}}$	

复核\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

5.7 核子射线法

5.7.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 4.5.1 条的要求。

5.7.2 试验操作应按本规程第 4.5.2 条规定进行。

5.7.3 试验结果应按下式计算：

$$\rho_d=\rho-\rho_{sw}$$
 (5.7.3)

式中  $\rho_d$ ——干密度 (g/cm<sup>3</sup>)，计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>；  
 $\rho$ ——湿密度 (g/cm<sup>3</sup>)；  
 $\rho_{sw}$ ——含水量 (g/cm<sup>3</sup>)。

5.7.4 试验允许差应符合下列规定：

本试验在同一测点，仪器在初始位置进行第一次读数，然后将仪器绕测孔旋转 180°进行第二次读数，当密度的平行差值不大于 0.03g/cm<sup>3</sup> 时，试验结果取两次读数的平均值。如果两次测定的平行差值超过允许差值，则应将仪器再绕测孔旋转到 90°和 270°的位置进行两次读数，取其四次读数的算术平均值。

5.7.5 记录格式应符合本规程表 4.5.5 的要求。

## 6 颗粒密度试验

### 6.1 一般规定

6.1.1 土的颗粒密度是土体内固体颗粒质量与颗粒体积之比值，单位为 g/cm<sup>3</sup>。

6.1.2 本试验的目的是测定土的颗粒密度，用于计算土的孔隙比、孔隙度、饱和度等指标。

6.1.3 本试验应根据土粒不同粒径，分别采用下列方法：

- 1 粒径小于 5mm 的土用量瓶法测定。
- 2 粒径等于大于 5mm 的土，其中大于 20mm 的颗粒含量少于 10% 时用浮称法，多于 10% 时用虹吸筒法。
- 3 当土中含有小于和大于 5mm 的颗粒，则应按本条第 1~2 款规定，分别用量瓶法、浮称法或虹吸筒法测定不同粒径的颗粒密度，平均颗粒密度应按下式计算：

$$\rho_{sm} = \frac{1}{\frac{P_1}{\rho_{s1}} + \frac{P_2}{\rho_{s2}}} \quad (6.1.3)$$

式中  $\rho_{sm}$ ——平均颗粒密度 (g/cm<sup>3</sup>)，计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_{s1}$ ， $\rho_{s2}$ ——大于和小于 5mm 粒径的颗粒密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$P_1$ ， $P_2$ ——大于和小于 5mm 粒径的土粒质量占总质量的质量分数。

### 6.2 量瓶法

6.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 量瓶：容积 100（或 50）mL。
- 2 天平：称量 200g，分度值 0.001g。
- 3 恒温水槽：准确度应为 ±1℃。
- 4 砂浴：应能调节温度。

- 5 温度计：测量范围  $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，分度值  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- 6 真空抽气设备：包括真空泵、抽气缸、真空压力表等。
- 7 其他：烘箱、纯水、中性液体（如煤油等）、孔径 20mm 及 5mm 筛、漏斗、滴管等。

#### 6.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 一般土的颗粒密度应采用纯水测定；当土中含有可溶盐、亲水性胶体或有机质，应采用中性液体（如煤油）测定。

2 量瓶在使用前必须进行量瓶和水（或中性液体）总质量的校正，其校正方法应按附录 A 规定进行。

3 将量瓶烘干，取烘干土 15g 装入 100mL 量瓶内（若用 50mL 量瓶，宜取 10g），称量瓶和土的总质量，准确至  $0.001\text{g}$ 。

4 向已装有干土的量瓶内注入纯水至量瓶的一半处，摇动量瓶，然后将量瓶放在砂浴上煮沸。煮沸时间自悬液沸腾时算起，砂土及粉土不少于 30min，黏土及粉质黏土不少于 1h。

5 煮沸完毕，取下量瓶，冷却至接近室温，将事先煮沸并冷却的纯水注入量瓶至近满（有恒温水槽时，可将量瓶放于恒温水槽内）。待瓶内悬液温度稳定及悬液上部澄清时，塞好瓶塞，使多余水分自瓶塞毛细管中溢出，将瓶外壁上的水分擦干后，称量瓶、水和土总质量，准确至  $0.001\text{g}$ ，并测定量瓶内水的温度，准确至  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

6 根据测得的温度，从已绘制的“温度与量瓶和水的总质量关系曲线”中查得量瓶和水的总质量。

7 用中性液体（如煤油）测定含有可溶盐、亲水性胶体或有机质土的颗粒密度时，可用真空抽气法代替煮沸法排除土中空气。对砂土，为了防止煮沸时颗粒跳出，也可采用真空抽气法。抽气时真空压力表读数须接近  $100\text{kPa}$ ，抽气时间 1～2h，直至悬液内无气泡逸出时为止。其余步骤与本条第 3～5 款相同。根据测得温度，从已绘出的“温度与量瓶和中性液体的总质量关系曲线”中查得量瓶和中性液体的总质量。

#### 6.2.3 试验结果应按下列公式计算：

- 1 用纯水测定时



$$\rho_s = \frac{m_d}{m_{pw} + m_d - m_{pws}} \cdot \rho_{wT}$$

(6.2.3—1)

式中  $\rho_s$ ——颗粒密度 (g/cm<sup>3</sup>)，计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>；

$m_{pw}$ ——量瓶和水的总质量 (g)；

$m_{pws}$ ——量瓶、水和土的总质量 (g)；

$m_d$ ——干试样质量 (g)；

$\rho_{wT}$ ——T℃时水的密度 (g/cm<sup>3</sup>)。

2 用中性液体测定时

$$\rho_s = \frac{m_d}{m_{pu} + m_d - m_{pus}} \cdot \rho_{uT}$$

(6.2.3—2)

式中  $m_{pu}$ ——量瓶和中性液体总质量 (g)；

$m_{pus}$ ——量瓶、中性液体和土的总质量 (g)；

$\rho_{uT}$ ——T℃时中性液体的密度 (g/cm<sup>3</sup>)，按附录 A.0.4 实测。

6.2.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值不得大于 0.02g/cm<sup>3</sup>，取算术平均值。

6.2.5 记录格式应符合表 6.2.5 的要求。

表 6.2.5 量瓶法颗粒密度试验记录

试样 编号	瓶号	量瓶 质量 (g)	干试 样质 量 (g)	量瓶+液 体+干试 样质量 (g)	温度 T (℃)	T(℃)时 量瓶+液 体质量 (g)	与干试样 同体积的 液体质量 (g)	T(℃)时 液体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	颗粒 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均值 (g/cm <sup>3</sup> )
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧=④+ ⑦-⑤	⑨	⑩=(④ /⑧)·⑨	

复核\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日

6.3 浮 称 法

6.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 孔径小于 5mm 的铁丝筐，直径约 10~15cm，高约 10~20cm。
- 2 适合铁丝框沉入用的盛水容器。

3 浮称天平：称量 2kg，分度值 0.2g。

4 其他：烘箱、温度计、孔径 5 及 20mm 筛、毛巾、瓷盘等。

### 6.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 取粒径大于 5mm 的代表性试样约 1000g，用清水洗净后，将试样浸在 15℃～25℃ 的水中，浸泡 24h 后取出，将试样放在湿毛巾上滚擦或擦干（以颗粒表面无发亮水膜为准），即得饱和面干试样，称饱和面干试样质量 ( $m_b$ )。

2 将铁丝筐浸入水中，称铁丝筐在水中的质量 ( $m_1$ )，如图 6.3.2。

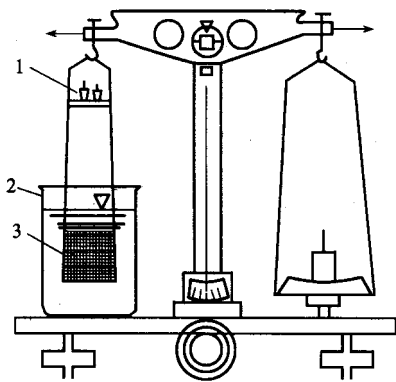


图 6.3.2 浮称天平

1—调平衡砝码盘；2—盛水容器；3—盛土样的铁丝筐

3 将已知质量的饱和面干试样全部放入铁丝筐中，缓缓浸没于水中，并在水中摇晃至无气泡逸出为止，称铁丝筐和试样在水中总质量 ( $m_2$ )，并测定盛水容器内水温，准确至 0.5℃。

4 取出铁丝筐中的全部试样放于瓷盘中，吸去盘中余水，置于 105℃～110℃ 烘箱中烘 4～6h，取出冷却至室温，称烘干试样的质量 ( $m_d$ )。

5 本试验称量应准确至 0.2g。

### 6.3.3 试验结果应按下列公式计算：

#### 1 颗粒密度

$$\rho_s = \frac{m_d}{m_d - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.3.3-1)$$

式中  $m_1$ ——铁丝筐在水中的质量 (g)；

$m_2$ ——铁丝筐和试样在水中总质量 (g)。

2 饱和面干密度和毛体积密度

$$\rho_b = \frac{m_b}{m_b - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT} \tag{6.3.3-2}$$

$$\rho_a = \frac{m_d}{m_b - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT} \tag{6.3.3-3}$$

式中  $\rho_b$ ——饱和面干密度 (g/cm³)；  
 $\rho_a$ ——毛体积密度 (g/cm³)；  
 $m_b$ ——饱和面干试样质量 (g)。

3 吸着含水率

$$w_x = \left( \frac{m_b}{m_d} - 1 \right) \times 100 \tag{6.3.3-4}$$

式中  $w_x$ ——吸着含水率 (％)，计算至 0.1％。

6.3.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值不得大于 0.02g/cm³，取算术平均值。

6.3.5 记录格式应符合表 6.3.5 的要求。

表 6.3.5 浮称法颗粒密度试验记录

试样编号	烘干试样质量 (g)	饱和面干试样质量 (g)	筐加试样在水中质量 (g)	筐在水中质量 (g)	试样在水中质量 (g)	温度 (℃)	水的密度 (查表) (g/cm³)	颗粒密度 (g/cm³)	平均值 (g/cm³)
	①	②	③	④	⑤ = ③ - ④	⑥	⑦	⑧ = $\frac{① \times ⑦}{① - ⑤}$	

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

6.4 虹吸筒法

6.4.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 虹吸筒：见图 6.4.1。
- 2 台秤：称量 10kg，分度值 1g。
- 3 量筒：容积大于 200mL。

4 其他同第 6.3.1 条第 4 款。

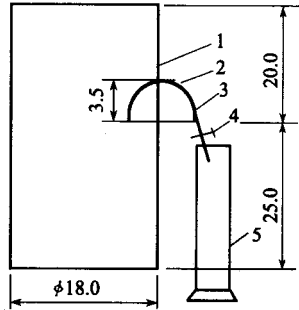


图 6.4.1 虹吸筒示意 (单位: cm)

1—虹吸筒; 2—虹吸管; 3—橡皮管; 4—管夹; 5—量筒

6.4.2 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 取粒径大于 5mm 具代表性的试样 1~7kg, 将试样彻底 冲洗, 直至颗粒表面无尘土和其他污物。
- 2 再将试样浸没水中浸泡 24h 后取出, 用湿毛巾滚擦颗粒表面水分, 即得饱和面干试样, 称其质量。
- 3 注清水入虹吸筒, 至管口有水溢出时为止。待管中水流停止后, 关闭管夹。将已称量的饱和面干试样缓缓放入筒中, 边放边搅, 直至无气泡逸出为止。搅动时勿使水溅出虹吸筒外。
- 4 待虹吸筒中水面平静后, 开启管夹, 让试样排开的水从虹吸管中流入量筒内。
- 5 测量筒内水的温度, 准确至 0.5℃, 称量筒质量及量筒和水的总质量。
- 6 取出虹吸筒内全部试样放于瓷盘中, 吸去余水, 置于 105℃~110℃烘干, 称其质量。
- 7 本试验称量应准确至 1g。

6.4.3 试验结果应按下列公式计算:

1 颗粒密度

$$\rho_s = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c) (m_b - m_d)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.4.3-1)$$

式中  $m_c$ ——量筒质量 (g);

$m_{cw}$ ——量筒和水的总质量 (g)。

2 饱和面干密度和毛体积密度

$$\rho_b = \frac{m_b}{(m_{cw} - m_c)} \cdot \rho_{wT} \tag{6.4.3-2}$$

$$\rho_a = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c)} \cdot \rho_{wT} \tag{6.4.3-3}$$

3 吸着含水率应按本规程式 (6.3.3—4) 计算。

6.4.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值不得大于 0.02g/cm³，取算术平均值。

6.4.5 记录格式应符合表 6.4.5 的要求。

表 6.4.5 虹吸筒法颗粒密度试验记录

量筒质量  $m_c =$  g

试样号	水的温度 (℃)	水的密度 (g/cm³) (查表)	烘干试样质量 (g)	饱和面干 试样质量 (g)	量筒和 排开水 总质量 (g)	排开水 质量 (g)	吸着水 质量 (g)	颗粒密度 (g/cm³)	平均值 (g/cm³)
	①	②	③	④	⑤	⑥ = ⑤ - $m_c$	⑦ = ④ - ③	⑧ = $\frac{③ \times ②}{⑥ - ⑦}$	

复核 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日      试验 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

7 颗粒分析试验

7.1 一般规定

7.1.1 颗粒分析试验是测定土中粒组及各粒组干土质量占该土总质量的质量分数，以百分数表示。

7.1.2 本试验应根据土的颗粒粒径大小，采用下列试验方法：

- 1 筛析法适用于粒径小于或等于 60mm，大于 0.075mm 的土。
- 2 密度计法和移液管法适用于粒径小于 0.075mm 的土。

3 当土中含有粒径大于和小于 0.075mm 的颗粒，各超过总质量的 10%时，应联合使用筛析法及密度计法或移液管法。

7.2 筛析法

7.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 分析筛：
  - 1) 粗筛：孔径为 60、40、20、10、5、2mm；
  - 2) 细筛：孔径为 2、1、0.5、0.25、0.075mm。
- 2 天平：称量 5000g，分度值 1g；称量 1000g，分度值 0.1g；称量 200g，分度值 0.01g。
- 3 筛析机：上下震动正常。
- 4 其他设备：烘箱、瓷盘、研钵（带橡皮头的杵、钢丝刷）等。

7.2.2 筛析法的取样数量，应符合表 7.2.2 的规定。

表 7.2.2 取样数量

土 粒 粒 径 (mm)	取 样 数 量 (g)
<2	100~300
<10	300~1000
<20	1000~2000
<40	2000~4000
<60	4000 以上

7.2.3 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 无凝聚性土的试验
  - 1) 视土样颗粒大小，用四分对角线法按表 7.2.2 的规定取样数量，取代表性风干试样。当称量小于 500g 时，应准确至 0.1g；当称量大于 500g 时，应准确至 1g。
  - 2) 将试样过 2mm 筛，称筛上或筛下的试样质量。当筛下的试样质量小于试样总质量的 10%时，不作细筛分析；当筛上的试样质量小于试样总质量的 10%时，不作粗筛分析。
  - 3) 取过 2mm 筛上的试样倒入依次叠好的粗筛最上层筛中；筛下的试样倒入

依次叠好的细筛最上层筛中，进行筛析。细筛宜置于筛析机上震筛，震筛时间为10~15min。

4) 按由上而下的顺序将各筛取下，于白瓷盘上用手拍叩摇晃，检查各筛，直至筛净为止，筛下的试样应收放人下一级筛内，最后称各级筛上及底盘内试样的质量，应准确至0.1g。

5) 筛后各级筛上和底盘内试样质量的总和与筛前试样总质量的差值，不得大于试样总质量的1%。

## 2 含有黏土粒的砂类土的试验

1) 先将土样放在橡皮板上，用木碾充分碾散黏结的土团块，然后按本条第1款要求称取试样，置于盛有清水的容器内充分搅拌，使试样中的粗细颗粒完全分离。

2) 将容器中的试样悬液通过2mm筛，边翻动、边冲洗、边过筛，直到筛上仅留大于2mm的土粒为止。取筛上的试样风干后称量，准确至0.1g，然后按本条第1款第3)~5)项各步骤进行粗筛分析。

3) 取过2mm筛下的悬液，用带橡皮头的研杵研磨，使通过0.075mm筛，筛上土粒反复加清水研磨过筛，直至悬液澄清为止，将筛上的试样烘干称量，准确至0.1g，然后按本条第1款第3)~5)项各步骤进行细筛分析。

4) 当小于0.075mm试样质量超过试样总质量的10%时，应按本规程密度计法或移液管法测定小于0.075mm的颗粒组成。

### 7.2.4 试验结果应按下列公式计算及制图：

#### 1 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数：

$$X = \frac{m_A}{m_B} \cdot d_x \quad (7.2.4-1)$$

式中  $X$ ——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数(%)，计算至0.1%；

$m_A$ ——小于某粒径的试样质量(g)；

$m_B$ ——细筛(或密度计)分析时为所取试样质量；粗筛分析时为所取试样总质量(g)；

$d_x$ ——粒径小于2mm或粒径小于0.075mm的试样质量占试样总质量的百分数(%)；若土中无大于2mm(或无大于0.075mm)的颗粒时，计算细筛(或密度计)及粗筛分析  $d_x = 100\%$ 。

2 以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数为纵坐标，颗粒粒径为横坐标，在单对数坐标纸上绘制颗粒大小分布曲线，见图 7.2.4 中 03 号线。当粗筛与细筛或筛析法与密度计法联合分析时，应将分段曲线接绘成一平滑曲线。

3 级配指标：

1) 不均匀系数

$$C_u = d_{60} / d_{10}$$
 (7.2.4—2)

式中  $C_u$ ——不均匀系数，计算至 0.01；

$d_{60}$ ——限制粒径，即在分布曲线上小于该粒径的试样含量占总试样质量的 60%的粒径；

$d_{10}$ ——有效粒径，即在分布曲线上小于该粒径的试样含量占总试样质量的 10%的粒径。

2) 曲率系数

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{10} \cdot d_{60})$$
 (7.2.4—3)

式中  $C_c$ ——曲率系数，计算至 0.01；

$d_{30}$ ——在分布曲线上，小于该粒径的试样含量占总试样质量的 30%的粒径；

7.2.5 记录格式应符合表 7.2.5 的要求。

表 7.2.5 筛析法颗粒分析记录

试样编号：

风干试样质量= g 小于 0.075mm 的试样占总试样质量百分数= %					
2mm 筛上试样质量= g 小于 2mm 的试样占总试样质量百分数= %					
2mm 筛下试样质量= g 细筛分析时所取试样质量= g					
筛号	孔径 (mm)	累积留筛 试样质量 (g)	小于该孔径 的试样质量 (g)	小于该孔径的 试样质量百分数 (%)	小于该孔径占总 试样质量百分数 (%)
底盘总计					

复核 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日 试验 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

7.3 密度计法

7.3.1 本试验应采用下列仪器设备：



1 密度计：密度计应按本规程附录 B 校正。

1) 甲种：刻度单位以摄氏 20℃ 时每 1000mL 悬液内所含试样质量的克数表示。刻度自 -5~50，分度值为 0.5。

2) 乙种：刻度单位以摄氏 20℃ 时悬液的相对密度表示。

刻度自 0.995~1.020，分度值为 0.0002。

2 量筒：高约 420mm，内径约 60mm，容积 1000mL，刻度 0~1000mL，分度值为 10mL。

3 细筛：孔径为 2、0.5、0.25、0.075mm。

4 洗筛：孔径为 0.075mm。

5 洗筛漏斗：上口直径略大于洗筛直径，下口直径略小于量筒直径。

6 天平：称量 1000g，分度值 0.1g；称量 200g，分度值 0.01g。

7 温度计：量程 0℃~50℃，分度值为 0.5℃。

8 搅拌器：底板直径 50mm，孔径为 3mm，杆长约 450mm，带旋转叶。

9 煮沸设备：附冷凝管装置。

10 其他设备：秒表、锥形瓶（500mL）、研钵、木杵、电导率仪等。

### 7.3.2 试剂配制应符合下列规定：

1 4%六偏磷酸钠溶液：溶解 4g 六偏磷酸钠 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 于 100mL 水中。

2 5%酸性硝酸银溶液：溶解 5g 硝酸银 ( $\text{AgNO}_3$ ) 于 100mL 10% 硝酸溶液中。

3 5%酸性氯化钡溶液：溶解 5g 氯化钡 ( $\text{BaCl}_2$ ) 于 100mL 10% 盐酸溶液中。

### 7.3.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 本试验应采用风干试样。当试样中易溶盐含量大于 0.5% 时，应洗盐。易溶盐含量的检验方法可用电导法或目测法。

1) 电导法：按电导率仪使用说明书操作，测定土水比为 1:5 的试样溶液在 T℃ 时的电导率，并按下式计算 20℃ 时的电导率：

$$\sigma_{20} = \sigma_T / [1 + 0.02 (T - 20)] \quad (7.3.3-1)$$

式中  $\sigma_{20}$ ——20℃ 时试样溶液的电导率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )；

$\sigma_T$ ——T℃ 时试样溶液的电导率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )；

T——测定试样溶液时的温度 (℃)。

当  $\sigma_{20}$  大于 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时，应洗盐。当  $\sigma_{20}$  大于 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  时，应按本规程第

## 31.2 节测定易溶盐含量。

2) 目测法: 取风干试样 3g 于烧杯中, 加少量水调成糊状研散, 再加水 25mL, 煮沸 10min, 冷却后移入试管中, 放置过夜, 观察试管中悬液, 若出现有凝聚现象, 应洗盐。并按本规程第 31.2 节进行易溶盐含量测定。

3) 洗盐方法: 按式 (7.3.3—3) 计算应称取干试样质量为 30g 时的风干试样质量, 准确至 0.01g, 倒入 500mL 的锥形瓶中, 加水 200mL, 搅拌后用滤纸过滤或抽气过滤, 并用水洗滤, 直至滤液的电导率  $\sigma_{20}$  小于  $1000\mu\text{S}/\text{cm}$  (或对 5% 酸性  $\text{AgNO}_3$  和 5% 酸性  $\text{BaCl}_2$  溶液均无白色沉淀反应) 为止。洗盐后滤纸上试样按本条第 4 款进行操作。

2 称取具有代表性风干试样 200~300g, 过 2mm 筛, 求出筛上试样占试样总质量的百分数。取筛下试样测定风干含水率。

3 计算按干试样质量为 30g 时应取风干试样质量:

当易溶盐含量小于 1% 时

$$m_0 = 30 (1 + 0.01w_0) \quad (7.3.3-2)$$

当易溶盐含量大于或等于 1% 时

$$m_0 = \frac{30 (1 + 0.01w_0)}{1 - 0.01DT} \quad (7.3.3-3)$$

式中  $m_0$ ——风干试样质量 (g);

$w_0$ ——风干试样含水率 (%);

$DT$ ——易溶盐含量 (%).

4 将计算后应称取的风干试样或洗盐后在滤纸上的试样倒入 500mL 锥形瓶中, 加水 200mL 并冲洗滤纸上土粒, 浸泡过夜, 然后置于煮沸设备上煮沸 40min。

5 将煮沸后冷却的悬液移入烧杯中, 静置 1min, 使上部悬液通过洗筛漏斗上 0.075mm 洗筛进入量筒中, 留在杯底的沉淀物用带橡皮头的研杵研散, 加适量水搅拌后, 静置 1min, 再使悬液通过洗筛漏斗上的 0.075mm 洗筛进入量筒中, 如此反复倾洗 (每次倾洗最后所得总悬液不得超过 1000mL) 直至杯内的砂粒洗净为止。将杯中和筛上的砂粒合并洗入蒸发皿中, 倾弃清水, 烘干称量、并按本规程第 7.2.3 条第 1 款第 3) ~ 5) 项进行细筛分析, 并计算各级颗粒占试样总质量的百分数。

6 于量筒内的悬液加入 4% 六偏磷酸钠 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 10mL, 再加水至 1000mL。

对于加入六偏磷酸钠后仍不能完全分散的试样应选用其他分散剂。

7 将搅拌器放入量筒中，沿悬液深度上下搅拌 1min，取出搅拌器，立即开动秒表，将密度计放入悬液中测记 0.5、1、5、30、120、1440min 时的密度计读数。每次读数均应在预定时间前 10~20s 内将密度计放入悬液中并接近读数的深度，保持密度计浮泡处于量筒中心，不得贴近量筒内壁。

8 密度计读数均以弯液面上缘为准。甲种密度计应准确至 0.5；乙种密度计应准确至 0.0002。每次读数后应取出密度计放入盛有纯水的量筒中，并应测定相应的悬液温度，准确至 0.5℃。放入或取出密度计时，不得搅动悬液。

7.3.4 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 小于某粒径试样质量占总试样的百分数：

甲种密度计：

$$X = \frac{100}{m_d} C_s (R + m_T + n - C_D) \quad (7.3.4-1)$$

式中  $X$ ——小于某粒径试样质量百分数（%），计算至 0.1%；

$m_d$ ——试样干质量（g）；

$C_s$ ——颗粒密度校正值，见表 7.3.4—1；

$m_T$ ——悬液温度校正值，见表 7.3.4—2；

$C_D$ ——分散剂校正值；

$n$ ——弯液面校正值；

$R$ ——甲种密度计读数。

乙种密度计：

$$X = \frac{100 V_x}{m_d} C'_s [(R' - 1) + m'_T + n' - C'_D] \rho_{w20} \quad (7.3.4-2)$$

式中  $R'$ ——乙种密度计读数；

$V_x$ ——悬液体积（=1000mL）；

$C'_s$ ——颗粒密度校正值，见表 7.3.4—1；

$m'_T$ ——悬液温度校正值，见表 7.3.4—2；

$n'$ ——弯液面校正值，按本规程附录 B.0.3 校正；

$C'_D$ ——分散剂校正值，按本规程附录 B.0.4 校正；

$\rho_{w20}$ ——20℃时纯水的密度（=0.998232g/cm<sup>3</sup>）。

表 7.3.4—1 颗粒密度校正值

颗粒密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	颗粒密度校正值	
	甲种密度计( $C_s$ )	乙种密度计( $C'_s$ )
0.50	1.038	1.667
2.52	1.032	1.658
2.54	1.027	1.649
2.56	1.022	1.641
2.58	1.017	1.633
2.60	1.012	1.625
2.62	1.007	1.617
2.64	1.002	1.610
2.66	0.997	1.602
2.68	0.993	1.595
2.70	0.989	1.588
2.72	0.984	1.581
2.74	0.981	1.575
2.76	0.976	1.568
2.78	0.973	1.562
2.80	0.969	1.556
2.82	0.964	1.549
2.84	0.961	1.543
2.86	0.958	1.538
2.88	0.954	1.532

表 7.3.4—2 温度校正值

悬液 温度 (℃)	甲种密度计 温度校正值 $m_T$	乙种密度计 温度校正值 $m_T'$	悬液 温度 (℃)	甲种密度计 温度校正值 $m_T$	乙种密度计 温度校正值 $m_T'$
10.0	−2.0	−0.0012	20.5	+0.1	+0.0001
10.5	−1.9	−0.0012	21.0	+0.3	+0.0002
11.0	−1.9	−0.0012	21.5	+0.5	+0.0003
11.5	−1.8	−0.0011	22.0	+0.6	+0.0004
12.0	−1.8	−0.0011	22.5	+0.8	+0.0005
12.5	−1.7	−0.0010	23.0	+0.9	+0.0006
13.0	−1.6	−0.0010	23.5	+1.1	+0.0007
13.5	−1.5	−0.0009	24.0	+1.3	+0.0008
14.0	−1.4	−0.0009	24.5	+1.5	+0.0009
14.5	−1.3	−0.0008	25.0	+1.7	+0.0010
15.0	−1.2	−0.0008	25.5	+1.9	+0.0011
15.5	−1.1	−0.0007	26.0	+2.1	+0.0013
16.0	−1.0	−0.0006	26.5	+2.2	+0.0014
16.5	−0.9	−0.0006	27.0	+2.5	+0.0015
17.0	−0.8	−0.0005	27.5	+2.6	+0.0016
17.5	−0.7	−0.0004	28.0	+2.9	+0.0018
18.0	−0.5	−0.0003	28.5	+3.1	+0.0019
18.5	−0.4	−0.0003	29.0	+3.3	+0.0021
19.0	−0.3	−0.0002	29.5	+3.5	+0.0022
19.5	−0.1	−0.0001	30.0	+3.7	+0.0023
20.0	0.0	0.0000			

2 土粒粒径：

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times \eta \cdot L}{\left(\frac{\rho_s - \rho_{wT}}{\rho_w}\right) \gamma_w \cdot t}}$$

(7.3.4—3)

= \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \times \eta \cdot L}{\left(\frac{\rho\_s - \rho\_{wT}}{\rho\_w}\right) \times 9.81 \cdot t}}

式中  $d$ ——土粒粒径 (mm), 计算至 0.001mm;  
 $\eta$ ——水的动力黏度 ( $=10^{-6}$  kPa·s), 查表 7.3.4—3;  
 $\rho_s$ ——颗粒密度 (g/cm<sup>3</sup>);  
 $\rho_{wT}$ —— $T^{\circ}\text{C}$  时水的密度 (g/cm<sup>3</sup>), 查表 7.3.4—3;  
 $\rho_w$ ——4 $^{\circ}\text{C}$  时水的密度 (g/cm<sup>3</sup>);  
 $\gamma_w$ ——4 $^{\circ}\text{C}$  时水的容重 ( $=9.81$  kN/m<sup>3</sup>);  
 $L$ ——某一时间内土粒沉降距离 (cm);  
 $t$ ——沉降时间 (s)。

为简化计算, 式 (7.3.4—3) 可写成:

d = K \sqrt{\frac{L}{t}} \tag{7.3.4—4}

式中  $K$ ——粒径计算系数  $\left[ = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \times \eta}{\left(\frac{\rho_s - \rho_{wT}}{\rho_w}\right) \times 9.81}} \right]$ , 与悬液温度和颗粒密度有关,

其值可查表 7.3.4—4。

表 7.3.4—3  $T^{\circ}\text{C}$  时水的动力黏度和密度

温度 $T$	动力黏度 $\eta$	水的密度 $\rho_w$	温度 $T$	动力黏度 $\eta$	水的密度 $\rho_w$	温度 $T$	动力黏度 $\eta$	水的密度 $\rho_w$
$^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-6}$ kPa·s	g/cm <sup>3</sup>	$^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-6}$ kPa·s	g/cm <sup>3</sup>	$^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-6}$ kPa·s	g/cm <sup>3</sup>
5.0	1.516	0.999992	15.0	1.144	0.999 126	25.0	0.899	0.997 074
5.5	1.493	982	15.5	1.130	050	25.5	0.889	0.996944
6.0	1.470	968	16.0	1.115	0.998 970	26 $^{\circ}$ 0	0.879	813
6.5	1.449	951	16.5	1.101	888	26.5	0.869	679
7.0	1.427	930	17.0	1.088	802	27.0	0.860	542
7.5	1.407	905	17.5	1.074	714	27.5	0.850	403
8.0	1.387	876	18.0	1.061	623	28.0	0.841	262
8.5	1.367	844	18.5	1.048	530	28.5	0.832	119

温度 $T$	动力黏度 $\eta$	水的密度 $\rho_w$	温度 $T$	动力黏度 $\eta$	水的密度 $\rho_w$	温度 $T$	动力黏度 $\eta$	水的密度 $\rho_w$
9.0	1.347	809	19.0	1.035	433	29.0	0.823	0.995 974
9.5	1.328	770	19.5	1.022	334	29.5	0.814	826
10.0	1.310	728	20.0	1.010	232	30.0	0.806	676
10.5	1.292	682	20.5	0.998	128	30.5	0.797	524
11.0	1.274	633	21.0	0.986	021	31.0	0.789	369
11.5	1.256	580	21.5	0.974	0.997911	31.5	0.781	213
12.0	1.239	525	22.0	0.963	799	32.0	0.773	054
12.5	1.223	466	22.5	0.952	685	32.5	0.765	0.994 894
13.0	1.206	404	23.0	0.941	567	33.0	0.757	731
13.5	1.190	339	23.5	0.930	448	33.5	0.749	566
14.0	1.175	271	24.0	0.919	327	34.0	0.742	399
14.5	1.160	200	24.5	0.909	201	34.5	0.734	230

表 7.3.4—4 粒径计算系数  $K$  值

温 度(℃)	颗粒密度 (g/cm <sup>3</sup> )										
	2.5	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
5.0	0.1362	0.1340	0.1319	0.1298	0.1279	0.1261	0.1243	0.1226	0.1210	0.1194	0.1180
5.5	0.1351	0.1329	0.1309	0.1288	0.1269	0.1251	0.1233	0.1217	0.1200	0.1185	0.1170
6.0	0.1342	0.1320	0.1299	0.1279	0.1260	0.1242	0.1225	0.1208	0.1192	0.1177	0.1162
6.5	0.1331	0.1310	0.1289	0.1269	0.1251	0.1233	0.1215	0.1199	0.1183	0.1167	0.1153
7.0	0.1322	0.1300	0.1280	0.1260	0.1242	0.1224	0.1207	0.1189	0.1174	0.1159	0.1145
7.5	0.1312	0.1290	0.1270	0.1251	0.1232	0.1214	0.1197	0.1181	0.1165	0.1150	0.1136
8.0	0.1303	0.1281	0.1261	0.1242	0.1224	0.1206	0.1189	0.1173	0.1158	0.1142	0.1128
8.5	0.1293	0.1272	0.1252	0.1233	0.1214	0.1197	0.1180	0.1164	0.1149	0.1134	0.1120
9.0	0.1284	0.1263	0.1243	0.1224	0.1206	0.1188	0.1172	0.1156	0.1141	0.1126	0.1112
9.5	0.1274	0.1254	0.1234	0.1215	0.1197	0.1180	0.1163	0.1147	0.1132	0.1118	0.1104
10.0	0.1266	0.1245	0.1226	0.1207	0.1189	0.1172	0.1156	0.1140	0.1125	0.1110	0.1096
10.5	0.1257	0.1237	0.1217	0.1198	0.1182	0.1165	0.1147	0.1132	0.1117	0.1102	0.1088

温度(℃)	颗粒密度 (g/cm³)										
	2.5	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
11.0	0.1248	0.1228	0.1209	0.1190	0.1173	0.1156	0.1140	0.1124	0.1109	0.1095	0.1081
11.5	0.1239	0.1219	0.1200	0.1182	0.1164	0.1147	0.1131	0.1116	0.1101	0.1087	0.1073
12.0	0.1231	0.1211	0.1192	0.1174	0.1156	0.1140	0.1124	0.1108	0.1094	0.1080	0.1066
12.5	0.1223	0.1206	0.1184	0.1166	0.1150	0.1133	0.1116	0.1101	0.1087	0.1073	0.1059
13.0	0.1215	0.1195	0.1176	0.1158	0.1141	0.1125	0.1109	0.1094	0.1080	0.1065	0.1052
13.5	0.1207	0.1187	0.1168	0.1151	0.1134	0.1118	0.1102	0.1087	0.1072	0.1058	0.1045
14.0	0.1199	0.1179	0.1161	0.1143	0.1126	0.1110	0.1094	0.1079	0.1065	0.1051	0.1038
14.5	0.1191	0.1172	0.1153	0.1135	0.1118	0.1102	0.1087	0.1072	0.1058	0.1045	0.1031
15.0	0.1183	0.1164	0.1146	0.1128	0.1112	0.1096	0.1080	0.1065	0.1052	0.1038	0.1025
15.5	0.1175	0.1156	0.1138	0.1121	0.1103	0.1087	0.1073	0.1058	0.1044	0.1031	0.1018
16.0	0.1168	0.1149	0.1131	0.1114	0.1097	0.1082	0.1066	0.1052	0.1038	0.1024	0.1012
16.5	0.1161	0.1142	0.1124	0.1107	0.1091	0.1075	0.1060	0.1045	0.1031	0.1018	0.1005
17.0	0.1153	0.1134	0.1117	0.1100	0.1084	0.1068	0.1053	0.1038	0.1025	0.1012	0.0999
17.5	0.1146	0.1127	0.1109	0.1092	0.1077	0.1062	0.1046	0.1032	0.1018	0.1005	0.0992
18.0	0.1139	0.1120	0.1103	0.1086	0.1070	0.1054	0.1040	0.1025	0.1012	0.0999	0.0986
18.5	0.1132	0.1113	0.1096	0.1079	0.1064	0.1049	0.1033	0.1019	0.1006	0.0993	0.0980
19.0	0.1125	0.1106	0.1089	0.1072	0.1057	0.1041	0.1027	0.1013	0.1000	0.0986	0.0974
19.5	0.1118	0.1100	0.1083	0.1066	0.1050	0.1035	0.1021	0.1007	0.0993	0.0981	0.0968
20.0	0.1111	0.1093	0.1076	0.1059	0.1044	0.1029	0.1014	0.1000	0.0987	0.0974	0.0962
20.5	0.1104	0.1086	0.1069	0.1053	0.1039	0.1024	0.1008	0.0994	0.0981	0.096g	0.0956
21.0	0.1098	0.1080	0.1063	0.1047	0.1031	0.1016	0.1002	0.0988	0.0976	0.0963	0.0951
21.5	0.1091	0.1074	0.1057	0.1041	0.1026	0.1011	0.0956	0.0983	0.0970	0.0957	0.0945
22.0	0.1085	0.1067	0.1050	0.1034	0.1019	0.1004	0.0990	0.0977	0.0964	0.0951	0.0940
22.5	0.1078	0.1061	0.1044	0.1028	0.1013	0.0999	0.0984	0.0971	0.0958	0.0946	0.0934
23.0	0.1072	0.1055	0.1038	0.1022	0.1007	0.0993	0.0979	0.0965	0.0953	0.0940	0.0929
23.5	0.1066	0.1048	0.1032	0.1016	0.1002	0.0988	0.0973	0.0960	0.0947	0.0935	0.0923
24.0	0.1060	0.1043	0.1026	0.1011	0.0996	0.0982	0.0968	0.0954	0.0942	0.0930	0.0918
24.5	0.1054	0.1036	0.1020	0.1005	0.0090	0.0976	0.0962	0.0949	0.0936	0.0924	0.0913



温 度(℃)	颗粒密度 (g/cm <sup>3</sup> )										
	2.5	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
25.0	0.1048	0.1031	0.1015	0.0999	0.0984	0.0970	0.0957	0.0944	0.0931	0.0919	0.0908
25.5	0.1042	0.1025	0.1009	0.0993	0.0979	0.0965	0.0951	0.0938	0.0926	0.0914	0.0902
26.0	0.1036	0.1019	0.1003	0.0988	0.0973	0.0959	0.0946	0.0933	0.0921	0.0909	0.0897
26.5	0.1030	0.1013	0.0997	0.0982	0.0968	0.0954	0.0940	0.0927	0.0915	0.0903	0.0892
27.0	0.1025	0.1008	0.0992	0.0977	0.0963	0.0949	0.0936	0.0923	0.0911	0.0899	0.0888
27.5	0.1018	0.1002	0.0986	0.0971	0.0957	0.0943	0.0930	0.0917	0.0905	0.0893	0.0882
28.0	0.1013	0.0997	0.0981	0.0966	0.0952	0.0938	0.0925	0.0912	0.0900	0.0889	0.0878
28.5	0.1008	0.0991	0.0976	0.0961	0.0948	0.0935	0.0920	0.0907	0.0895	0.0884	0.0873
29.0	0.1002	0.0986	0.0970	0.0956	0.0942	0.0928	0.0915	0.0903	0.0891	0.0879	0.0868
29.5	0.0997	0.0980	0.0965	0.0950	0.0939	0.0926	0.0910	0.0897	0.0886	0.0874	0.0863
30.0	0.0992	0.0975	0.0960	0.0946	0.0932	0.0918	0.0906	0.0893	0.0881	0.0870	0.0859
30.5	0.0986	0.0970	0.0955	0.0940	0.0927	0.0913	0.0900	0.0888	0.0876	0.0865	0.0854

3 以小于某粒径试样质量百分数为纵坐标，土粒直径的对数值为横坐标绘制颗粒大小分布曲线。如与筛析法联合分析，应将两段曲线绘成一平滑曲线，见图 7.2.4。

7.3.5 记录格式应符合表 7.3.5 的要求。

表 7.3.5 密度计法颗粒分析试验记录

试样编号：

小于 2mm 试样占总试样质量的百分数 %		密度计号
风干试样质量( $m_0$ )	g	量筒号
风干含水率( $w_0$ )	%	颗粒密度( $\rho_s$ )
干试样质量( $m_d$ )	g	颗粒密度校正值( $C_s$ )
易溶盐含量(DT)	%	弯液面校正值( $n$ )
试样处理说明：		土样原始状态

试验时间	下沉时间 $t$ (min)	悬液温度 $T$ (℃)	密度计读数( $R_H$ )					土粒沉降距离 $L$ (cm)	土粒直径 $d$ (mm)	小于某粒径试样质量百分数 (%)	小于某粒径试样总质量百分数 (%)
			密度计读数 $R$	温度校正 值 $m_T$	分散剂校正 值 $C_D$	$R_M=R+m_T$ $+n-C_D$	$R_H=R_M \cdot C_s$				
	0.5										
	1										
	2										
	5										
	30										
	120										
	1440										

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

7.4 移液管法

7.4.1 本试验应采用下列仪器设备

- 1 移液管：容积 25mL，见图 7.4.1。
- 2 小烧杯：容积 50mL，称量准确至 0.001g。
- 3 分析天平：称量 200g，分度值 0.001g。
- 4 恒温水槽：量程 0℃～100℃，分度值 0.5℃。
- 5 其他设备同本标准密度计法第 7.3.1 条。

7.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 称取代表性试样（黏土 10～15g、砂土 20g），准确至 0.001g，并按本标准密度计法第 7.3.3 条第 1～6 款各步骤制备悬液。
- 2 将装置悬液的量筒置于恒温水槽中至悬液温度稳定，测记悬液温度，准确至 0.5℃。
- 3 按本规程式（7.3.4—4）计算粒径，小于 0.05、0.01、0.005、0.002mm 和其他所需粒径下沉一定深度需要静置的时间，可查表 7.4.2。

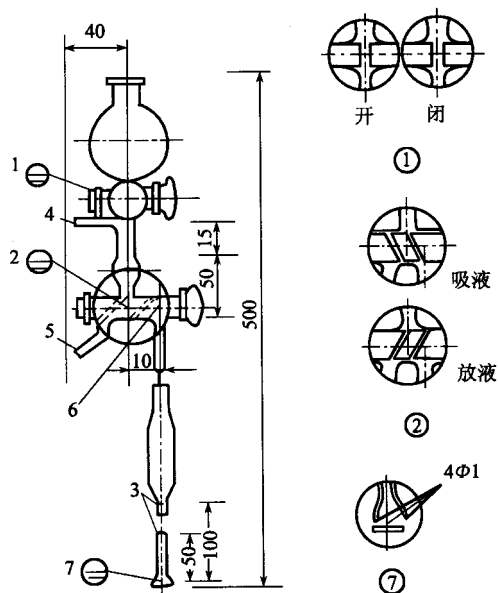


图 7.4.1 移液管装置

1—二通阀；2—三通阀；3—移液管刻度；4—接吸球；

5—放液口；6—移液管容积 (25mL+0.5mL)；7—移液管口

表 7.4.2 土粒沉降时间表

土粒 比重	粒径 (cm)	沉降 距离 (cm)	10℃			15℃			16℃			17℃			18℃			19℃			20℃			21℃			22℃			23℃			24℃			25℃		
			h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s			
2.60	0.05	0		1	0			57			51			50			49			47			46			45			44			43			42			41
	0.01			25	3		23	50		21	19		20	48		20	17		19	46		19	18		18	50		18	22		17	57		17	33		17	10
	0.005		1	40	12	1	35	22	1	25	50	1	23	11	1	21	7	1	19	4	1	17	11	1	15	20	1	13	30	1	11	50	1	10	11	1	8	41
	0.002		10	26	17	9	56	0	8	52	59	8	39	52	8	26	55	8	14	8	8	2	24	7	50	49	7	39	22	7	28	56	7	18	37	7	9	17
2.65	0.05	0			58			51			50			48			47			46			45			44			43			42			41			40
	0.01			24	17		21	12		20	41		20	10		19	39	19	9	18	41		18	16		17	49		17	25		17	2		16	38		
	0.005		1	37	7	1	24	50	1	22	44	1	20	40	1	18	38	1	16	37	1	14	46	1	13	5	1	11	17	1	9	38	1	8	8	1	6	32
	0.002		10	7	1	8	50	10	8	37	5	8	24	10	8	11	25	7	58	50	7	47	17	7	36	45	7	25	29	7	15	12	7	5	53	6	55	50
2.70	0.05	0			57			49			48			47			46			45			44			43			42			41			40			39
	0.01			23	34		20	37		20	3		19	35		19	5		18	37		18	10		17	43		17	19		16	54		16	32		16	8
	0.005		1	34	15	1	22	26	1	20	14	1	18	20	1	16	20	1	14	29	1	12	40	1	10	52	1	9	13	1	7	36	1	6	8	1	4	33
	0.002		9	49	3	8	35	14	8	21	25	8	9	37	7	57	3	7	45	31	7	34	8	7	22	36	7	12	39	7	2	31	6	53	20	6	43	26

土粒 比重	粒径 (cm)	沉降 距离 (cm)	10℃			15℃			16℃			17℃			18℃			19℃			20℃			21℃			22℃			23℃			24℃			25℃		
			h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s
2.75	0.05	0			55			48			47			46			44			43			42			41			40			39			39			38
	0.01			22	54		20	1		19	31		19	1		18	31		18	4		17	39		18	12		17	48		16	26		16	4		15	41
	0.005		1	31	34	1	20	5	1	18	3	1	18	2	1	14	4	1	12	15	1	10	35	1	8	49	1	7	12	1	5	44	1	4	17	1	2	44
	0.002		9	32	20	8	20	30	8	7	48	8	7	16	7	4	53	7	31	32	7	21	11	7	10	6	7	0	0	6	50	51	6	41	48	6	32	2
2.80	0.05	0			53			47			45			44			43			42			41			40			39			38			37			37
	0.01			22	16		19	26		18	56		18	29		18	2		17	35		17	18		16	44		16	20		15	58		15	37		15	16
	0.005		1	29	5	1	17	46	1	15	45	1	13	55	1	12	7	1	10	19	1	8	11	1	6	56	1	5	20	1	3	54	1	2	28	1	1	3
	0.002		9	16	48	8	6	0	7	53	29	7	42	0	7	30	40	7	19	28	7	8	24	6	58	20	6	48	22	6	39	21	6	31	26	6	21	36

4 用搅拌机沿悬液深度上下搅拌 1min，取出搅拌机并开动秒表，将移液管的二通阀置于关闭位置，三通阀置于移液管和吸球相通位置，根据各粒径所需的静置时间，提前 10s 将移液管放入悬液中，浸入深度 10cm 处，用吸球吸取悬液。吸取量不得少于 25mL。

5 旋转三通阀，使吸球与放液口相通让多余的悬液从放液口流出并收集倒回原悬液中。

6 将移液管下口放入烧杯内，旋转三通阀，使吸球与移液管相通，用吸球将悬液挤入烧杯中，从上口倒入小量水，旋转二通阀，使上下口连通，水则通过移液管将悬液洗入烧杯中。

7 将烧杯内悬液蒸干，并在 105℃～110℃温度下烘至恒量，准确至 0.001g。

7.4.3 试验结果应按下式计算及制图：

1 小于某粒径的试样质量占总试样质量的百分数：

$$X=\frac{m_x \cdot V_x}{V \cdot m_d} \times 100 \tag{7.4.3}$$

式中 X——小于某粒径的试样质量占总试样质量的百分数（%），计算至 0.1%；  
V<sub>x</sub>——悬液总体积（=1000mL）；  
V——吸取悬液的体积（=25mL）；  
m<sub>x</sub>——吸取 25mL 悬液中的干试样质量（g）；  
m<sub>d</sub>——干试样质量（g）。

2 颗粒大小分布曲线应按本规程第 7.2.4 条第 2 款绘制。当移液管法与筛析法联合分析时，应将试样总质量折算后再绘制颗粒大小分布曲线，并将两段曲线连成一条平滑的曲线见本规程图 7.2.4 中 02 号线。

7.4.4 记录格式应符合表 7.4.4 的要求。

表 7.4.4 移液管法颗粒分析记录

试样编号					土颗粒密度			g/cm <sup>3</sup>
干试样质量					g			锥形瓶号
小于 2mm 颗粒占总试样质量百分数					%			烧杯号
小于 0.075mm 颗粒占总试样质量百分数					%			量筒号
粒径 (mm)	杯号	杯加试样质量 (g)	杯质量 (g)	吸管内干 试样质量 (g)	1L 量筒内干 试样的质量 (g)	小于某粒径试 样质量百分数 (%)	小于某粒径试样占 总试样质量百分数 (%)	
0.05								
0.01								
0.005								
0.002								

复核\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

8 界限含水率试验

8.1 一般规定

8.1.1 液限是黏性土从可塑状态过渡到流动状态时的界限含水率；塑限是黏性土从可塑状态过渡到半固体状态时的界限含水率；缩限是土由半固体状态过渡到固体状态时且体积不再收缩时的界限含水率。

8.1.2 本试验的目的是测定黏性土的液限、塑限和缩限，用于计算塑性指数、液性指数和土的分类。

8.1.3 本试验适用于粒径小于 0.5mm 颗粒组成的土。

8.2 液、塑限联合测定法

8.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 液塑限联合测定仪如图 8.2.1 所示。
  - 1) 圆锥质量 76g，锥角 30°。
  - 2) 读数显示：宜采用光电式、游标式和百分表式。
  - 3) 试样杯：直径 40～50mm，高 30～40mm。
- 2 天平：称量 200g，分度值 0.01g。
- 3 其他：烘箱、干燥器、称量盒、调土刀、凡士林等。

### 8.2.2 试验操作应按下列步骤进行:

1 本试验应采用保持天然含水率的土样制备试样。在无法保持土的天然含水率情况下,也可用风干土制备试样。

2 当采用天然含水率的土样时,应剔除大于 0.5mm 的颗粒,然后分别按下沉深度为 3~5mm、9~11mm 及 16~18mm (或分别按接近液限、塑限和二者的中间状态)制备不同稠度的土膏,静置湿润。静置时间可根据含水率的大小而定。

3 当采用风干土样时,取过 0.5mm 筛的代表性试样约 200g,分成 3 份,分别放入 3 个盛土皿中,加入不同数量的纯水,使分别达到本条第 2 款中所述的 3 种稠度状态,调成均匀土膏,然后用玻璃和湿毛巾盖住或放在密封的保湿器中,静置 24h。

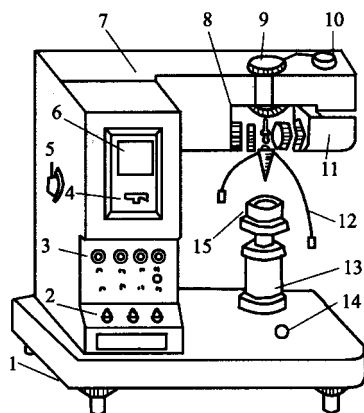


图 8.2.1 光电式液塑限联合测定仪

- 1—水平调节螺丝; 2—控制开关; 3—指示灯; 4—零线调节螺丝;  
5—反光镜调节螺丝; 6—屏幕; 7—机壳; 8—物镜调节螺丝;  
9—电磁装置; 10—光源调节螺丝; 11—光源; 12—圆锥仪;  
13—升降台; 14—水平泡; 15—试样杯

4 将制备好的土膏用调土刀加以充分调拌均匀,密实地填入试样杯中,尽量使土中空气逸出。高出试样杯的余土用调土刀刮平,将试样杯安放在仪器升降座上。

5 在圆锥仪锥体上涂以薄层凡士林。接通电源,使电磁铁吸稳圆锥仪(对于游标式或百分表式,提起锥杆,用旋钮固定)。

6 调节屏幕准线,使初始读数为零(游标尺或百分表读数调零)。调整升降台,使圆锥仪锥尖刚好接触土面,指示灯亮时圆锥仪在自重作用下沉入试样中(游标式或百分表式用手扭动旋钮,放开锥杆)。约经 5s 后立即测读圆锥下沉深度。取出试样杯,取 10g 以上的试样 2 个装入称量盒内,测定其含水率。

7 重复本条第 4~6 款步骤,测试其余两个试样的圆锥下沉深度和含水率。

8.2.3 试验结果应按下列公式计算及绘图:

1 试样的含水率按本程式(4.2.3)计算。

2 以含水率为横坐标,圆锥下沉深度为纵坐标,在双对数坐标纸上绘制如图 8.2.3 的关系曲线。三点应连成一条直线,如图中 A 线所示。当三点不在一条直线上,则通过高含水率这一点与其余两点连成两条直线,在圆锥下沉深度为 2mm 处可查得相应的两个含水率。当这两个含水率的差值小于 2% 时,应以这两点的含水率平均值与高含水率的点连成一条直线,如图中 B 线所示。当这两个含水率之差值大于或等于 2% 时,则应再补做试验。

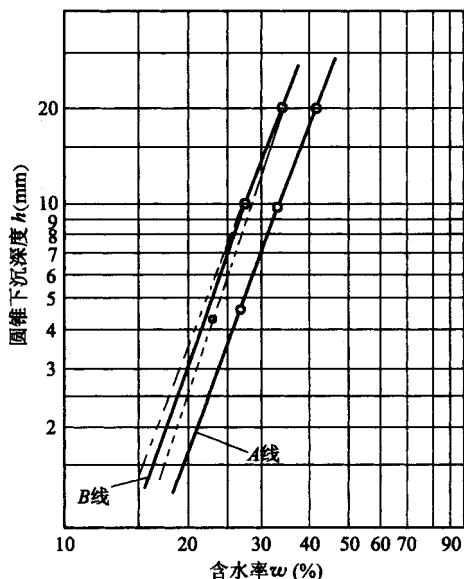


图 8.2.3 圆锥下沉深度与含水率关系曲线

3 在图 8.2.3 中,下沉深度为 17mm 所对应的含水率为液限;下沉深度为 10mm 所对应的含水率为 10mm 液限;下沉深度为 2mm 所对应的含水率为塑限。

取值以百分数表示，准确至 0.1％。

4 塑性指数

$$I_p = \omega_L - \omega_p \tag{8.2.3-1}$$

式中  $I_p$ ——塑性指数；  
 $\omega_L$ ——液限（％）；  
 $\omega_p$ ——塑限（％）。

5 液性指数

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{I_p} \tag{8.2.3-2}$$

式中  $I_L$ ——液性指数，计算至 0.01；  
 $\omega$ ——天然含水率（％）。

6 含水比

$$a_w = \frac{\omega}{\omega_L} \tag{8.2.3-3}$$

式中  $a_w$ ——含水比。

8.2.4 记录格式应符合表 8.2.4 的要求。

表 8.2.4 液、塑限联合试验记录

试样 编号	圆锥 下沉 深度 $h$ (mm)	称量 盒号	湿试样 质量 (g)	干试样 质量 (g)	含水率 (％)	液 限 (％)	液 限 (％)	塑 限 (％)	土 的 分 类
			(1)	(2)	(3) $\left(\frac{(1)}{(2)} - 1\right) \times 10$	(4) $h = 17\text{mm}$	(5) $h = 10\text{mm}$	(6) $h = 2\text{mm}$	

复核\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日

8.3 碟式仪液限试验

8.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 碟式液限仪：由土碟、支架及底座组成，见图 8.3.1。其底座由硬橡胶制成，并配有一定形状和尺寸的专用划刀。
- 2 天平：称量 200g，分度值 0.01g。
- 3 其他：烘箱、干燥器、称量盒、调土刀等。

8.3.2 碟式仪在试验前的检查校正应按下列步骤进行：



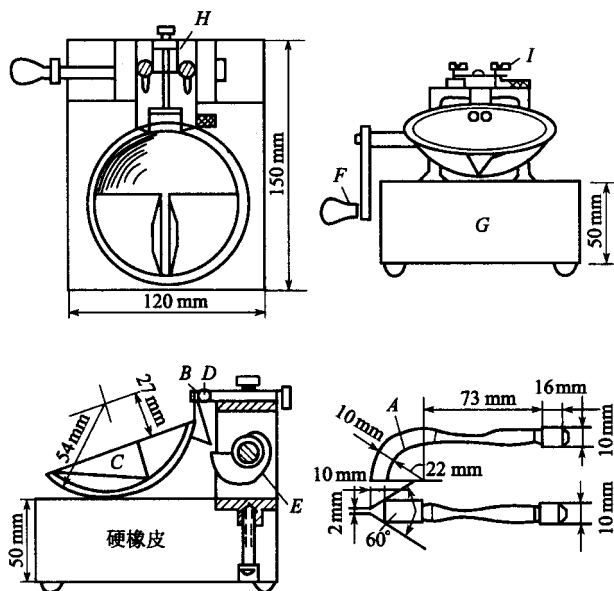


图 8.3.1 碟式液限仪

A—划刀；B—销子；C—土碟；D—支架；E—蜗轮；

F—摇柄；G—底座；H—调整板；I—螺丝

1 检查连接土碟的销子 B 是否磨损。

2 上紧固定螺丝 I。

3 用划刀柄（直径为 10mm）为量度，前后移动调整板 H，使土碟底至底座 G 之间落高为 10mm，拧紧螺丝 I，固定调整板。

### 8.3.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 取已过 0.5mm 筛的天然或风干试样约 100g，放在调土皿中，加入纯水，用调土刀进行反复拌匀。

2 由调土皿中取一部分试样，平铺于土碟的前半部，如图 8.3.1 中。铺土时必须注意防止在试样中混入气泡，并用调土刀将试样面修平，使中间最厚处为 10mm，将多余试样仍放回原来的调土皿中。以蜗轮为中心，用划刀自后向前沿土碟中央将试样划成槽缝清晰的两半，如图 8.3.3 (a)。为避免槽缝边扯裂或者是试样在土碟中滑动，允许从前到后，再从后到前多划几次，将槽逐步加深，以代替一次划槽。最后一次从后至前划槽能明显地接触碟底，但宜减少划槽的次数。

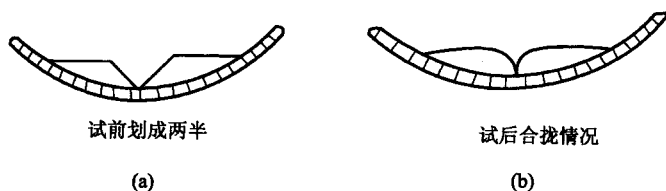


图 8.3.3 划槽及合拢状况

3 以  $2\text{r/s}$  的速率转动摇柄，使土碟反复起落，坠击于底座上，数其击数，直至试样两边在槽底的合拢长度为  $13\text{mm}$  为止，如图 8.3.3 (b) 所示。记录击数，并在槽的两边采取试样  $10\text{g}$  左右，测定其含水率。

4 将土碟中所剩余的试样仍移到调土皿中，加水充分拌和均匀，仍按本条第 1~3 款至少再做 2 次试验。这 2 次土的稠度应使合拢长度为  $13\text{mm}$  时所需击数在  $15\sim 35$  次之间（25 次以上和以下各 1 次），然后测定各击次下试样的相应含水率。

### 8.3.4 试验结果应按下式计算及制图：

1 各击数下合拢时试样的相应含水率

$$w_N = \left( \frac{m_N}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (8.3.4)$$

式中  $w_N$ —— $N$  击数下试样的含水率（%），计算至  $0.1\%$ ；

$m_N$ —— $N$  击数下试样的质量（g）；

$m_d$ ——烘干试样的质量（g）。

2 根据计算结果，在单对数坐标纸上以含水率为纵坐标，以击数为横坐标，绘制含水率与击数关系曲线，见图 8.3.4。曲线上击数 25 次所对应的含水率，即为该试样的液限。

### 8.3.5 记录格式应符合表 8.3.5 的要求。

表 8.3.5 碟式仪液限试验记录

试样 编号	击 数 $N$	盒 号	湿试 样质 量 $m$ (g)	干试 样质 量 $m_d$ (g)	含水率 $w$ (%)	液限 $w_L$ (%)	塑限 $w_p$ (%)	塑性 指数 $I_p$	液性指数 $I_L$
			(1)	(2)	$(3) = \left( \frac{(1)}{(2)} - 1 \right) \times 100$	(4)	(5)	(6)	$(7) = \frac{(3) - (5)}{(6)}$

复核 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日      试验 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

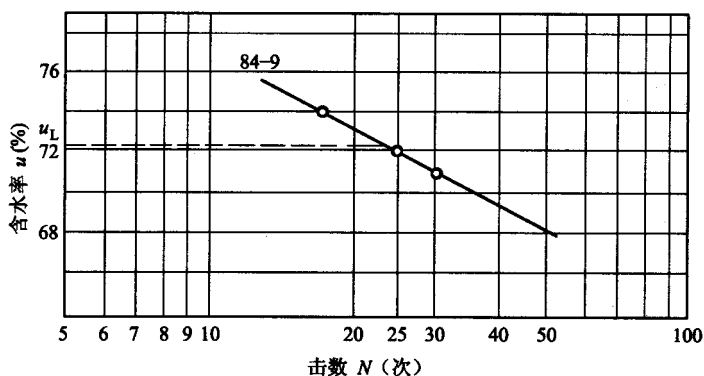


图 8.3.4 含水率与击数关系曲线

## 8.4 搓条法塑限试验

### 8.4.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 毛玻璃板：约 200mm×300mm。
- 2 直径 3mm 的金属丝或卡尺。
- 3 其他：同本规程第 8.3.1 条第 2～3 款。

### 8.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 取 0.5mm 筛下的代表性试样 100g，加纯水拌和均匀，湿润过夜；或者直接从液限试验制备好的试样中取约 30g 土备用。
- 2 为使试样的含水率接近塑限，可先将试样在手中捏揉至不黏手，或用吹风机稍微吹干，然后将试样捏扁。如出现裂缝，表示试样已接近塑限。
- 3 取接近塑限的试样 8～10g，用手搓成椭圆形，然后用手掌在毛玻璃板上搓滚。搓滚时手掌要均匀施加压力于土条上，不得使土条在毛玻璃板上作无力滚动，土条长度不宜超过手掌宽度，土条不得产生空心现象。
- 4 土条搓成直径 3mm 时未产生裂缝或断裂，表示试样的含水率高于塑限，应将土条捏成一团，重新搓滚，直至土条直径达 3mm 时产生裂缝并开始断裂为止。当土条直径大于 3mm 时即断裂，表示试样含水率低于塑限，应弃掉，重新取样做试验。若土条在任何含水率下始终搓不到 3mm 即开始断裂，则该土无塑性。
- 5 取直径符合 3mm 断裂土条 3～5g 放入称量盒内，盖紧盒盖，测定其含水率，此含水率即土的塑限。

### 8.4.3 试验结果应按下式计算：

$$w_p=\left(\frac{m}{m_d}-1\right)\times 100$$

(8.4.3)

式中  $w_p$ ——塑限（%），计算至 0.1%；  
 $m$ ——湿试样质量（g）。

8.4.4 本试验应进行两次平行测定，允许平行差值应符合本规程第 4.2.4 条的规定，取其算术平均值。

8.4.5 记录格式应符合表 8.4.5 的要求。

表 8.4.5 搓条法塑限试验记录

试样编号	盒号	湿试样质量 (g)	干试样质量 (g)	含水率 (g)	期 限 (%)
		(1)	(2)	$(3)=\left(\frac{(1)}{(2)}-1\right)\times 100$	(4)

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

8.5 收缩皿法缩限试验

8.5.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 收缩皿：金属制成，直径 45~50mm，高 20~30mm。
- 2 天平：称量 500g，分度值 0.01g。
- 3 蜡、烧杯、细线、针。
- 4 其他应符合本规程第 8.2.1 条第 3 款的要求。

8.5.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 取已过 0.5mm 筛的代表性试样约 200g，搅拌均匀，加纯水制备成含水率等于或略大于 10mm 液限的试样。
- 2 在收缩皿内涂一薄层凡士林，将试样分层填入收缩皿中，每次填入后，将收缩皿底拍击试验桌桌面，直至驱尽气泡，在收缩皿内填满试样后刮平表面。
- 3 擦净收缩皿的外部，称收缩皿和试样的总质量，准确至 0.01g。
- 4 将填满试样的收缩皿放在通风处晾干，当试样颜色逐渐变淡时，放入烘箱内烘至恒量。取出后立即置于干燥器内冷却至室温，称收缩皿和干试样的总质量，准确至 0.01g。

- 5 用蜡封法测定干试样的体积。
- 8.5.3 试验允许差应符合本规程第 4.2.4 条规定。
- 8.5.4 试验结果应按下式计算：

$$w_s=w-\frac{V_0-V_d}{m_d}\cdot\rho_w\times100$$

(8.5.4)

式中  $w_s$ ——土的缩限（％），计算至 0.1％；  
 $w$ ——制备时湿试样的含水率（％）；  
 $V_0$ ——湿试样体积（cm<sup>3</sup>）；  
 $V_d$ ——干试样体积（cm<sup>3</sup>）；  
 $\rho_w$ ——水的密度（g/cm<sup>3</sup>）。

8.5.5 记录格式应符合表 8.5.5 的要求。

表 8.5.5 收缩皿法缩限试验记录

试 样 编 号						
收缩皿编号						
湿试样质量	(g)	(1)				
干试样质量	(g)	(2)				
含水率	(%)	(3)	$\left(\frac{(1)}{(2)}-1\right)\times100$			
湿试样体积	(cm <sup>3</sup> )	(4)				
干试样体积	(cm <sup>3</sup> )	(5)				
收缩体积	(cm <sup>3</sup> )	(6)	(4)－(5)			
收缩含水率	(%)	(7)	$\frac{(6)}{(2)}\rho_w\times100$			
缩限	(%)	(8)	(3)－(7)			
平均值	(%)	(9)				

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

9 湿化试验

- 9.0.1 土的湿化是土体在水中发生崩解的现象。
- 9.0.2 本试验的目的是测定黏性土在水中的湿化速度及崩解状态。

**9.0.3** 本试验适用于具有原状结构的黏性土和按工程需要用扰动土制备的击实土。

**9.0.4** 本试验应采用下列仪器设备：

1 湿化仪：由浮筒、网板、玻璃水槽组成，如图 9.0.4。

1) 浮筒：长颈锥体，下有挂钩，颈上有刻度，分度值为 5。

2) 网板：10cm×10cm 金属方格网，孔径 1cm，可挂在浮筒下端。

3) 玻璃水槽：宽约 15cm，高约 70cm，长度视需要而定，内盛清水。

2 天平：称量 500g，分度值 0.01g。

3 其他：切土刀、钢尺、秒表、时钟等。

**9.0.5** 试验操作应按下列步骤进行：

1 从原状土或按工程需要用扰动土制备的重塑土样中，切取边长为 5cm 的立方体试样。

2 按本规程第 4.2 节和第 5.2 节规定分别测定土的含水率和密度。

3 将试样放在金属网板中央，并悬挂在浮筒下端，然后手持浮筒颈端，迅速将试样浸入水槽中，开动秒表。

4 立即测记开始时浮筒齐水面处刻度的瞬间读数及开始时间。

5 按 1、5、10、30、60min，2、3、4h……测记浮筒齐水面处的刻度读数，并描述试样的崩解情况（粉状、片状、块状）。根据试样崩解的快慢，可适当缩短或增长测读时间间隔。

6 当试样完全崩解通过网格落下后，试验即告结束。如果试样经两昼夜不崩解可终止试验，则记下试样在水中的情况。

**9.0.6** 试验结果应按下列式计算：

$$A_t = \frac{R_t - R_0}{100 - R_0} \times 100 \quad (9.0.5)$$

式中  $A_t$ ——试样在时间  $t$  时的崩解量（%）；

$R_t$ ——时间  $t$  时浮筒齐水面处的刻度读数；

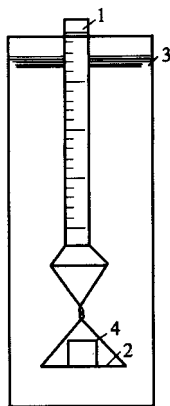


图 9.0.4 湿化仪示意

1—浮筒；2—网板；

3—水槽；4—试样

$R_0$ ——试验开始时浮筒齐水面刻度的瞬间稳定读数。

9.0.7 记录格式应符合表 9.0.7 的要求。

表 9.0.7 湿化试验记录

试样编号		密 度 (g/cm <sup>3</sup> )		含水率 (%)	试样状态		仪器号
试验开始时间		浮筒读数 经过时间		浮筒读数	浮筒读数 差 值	崩解量(%)	崩解情况描述
年	月	h	min	$R_t$	$R_t - R_0$	$A_t = \frac{R_t - R_0}{100 - R_0} \times 100$	
d: ____							
h: ____							
min: ____							
试验开始浮筒读数 $R_0$							

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

10 最大分子吸水率试验

10.0.1 土的最大分子吸水率是土粒表面由分子力所吸引的薄膜水的质量与干土质量的比值，以百分数表示。

10.0.2 本试验的目的是测定充分饱和的土承受 1000 倍重力的离心作用 1h 后的含水率，该含水率视为土的最大分子吸水率。

10.0.3 本试验采用离心含水当量法测定土的最大分子吸水率。适用于粒径小于 0.5mm 的土。

10.0.4 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 离心机：其尺寸与运转能确保在试样的重心处产生相当于 1000 倍重力的离心力达 1h。
- 2 离心枢轴杯：带有盖子，内装古氏坩埚及相应的支承架。坩埚离杯底距离为 13mm，如图 10.0.4 所示。在离心力作用下所排出的水不与坩埚或土接触。

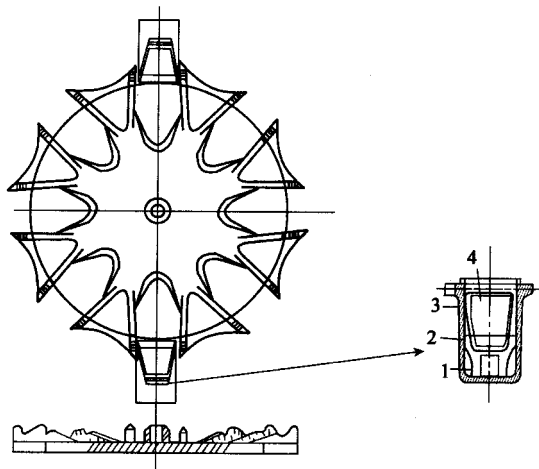


图 10.0.4 离心机主零件示意

- 1—坩埚支承架；2—滤纸；  
3—离心枢轴杯；4—坩埚

3 古氏坩埚：容积约为 25mL，具有底孔的瓷坩埚。其外部尺寸：高约 37.5mm，顶部直径 25mm，底部直径 20mm，如图 10.0.4。

4 天平：称量 200g，分度值 0.01g。

5 其他：2mm 筛、称量盒、保湿器、烘箱等。

#### 10.0.5 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本规程第 3.2.2 条第 2~3 款的规定进行。从制备好的小于 0.5mm 的试样中取 2 份，每份 5g，分别倒入底面铺湿滤纸的两个坩埚中。

2 将装有试样的坩埚置于盛有纯水的盆中，水深应高出试样顶面 5mm，静置 8h 以上，当试样表面出现自由水时，表示试样已饱和，取出坩埚放入保湿器中再静置 12h，以保证试样中水分均匀分布。

3 取出坩埚，吸去试样表面的自由水，放入离心枢轴杯中，将成对的坩埚放在离心机的对称位置上。

4 控制离心机的内室温度在  $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ ，使离心机在 5min 内达到要求的转速（约为 2300r/min），在该速度下旋转 1h，然后逐渐减速，在 5min 内停止转动。

5 取出两个坩埚内的试样分别放入两个称量盒内，盖紧上盖，按本规程第 4.2.2 条步骤测定该试样此时的含水率即为离心含水当量。



10.0.6 试验结果应按下式计算：

$$w_{cme} = \left( \frac{m_a}{m_d} - 1 \right) \times 100$$

(10.0.6)

式中  $w_{cme}$ ——土的离心含水当量（%），计算至 0.1%；

$m_a$ ——离心后的试样质量（g）；

$m_d$ ——烘干试样质量（g）。

10.0.7 本试验应进行平行测定，平行测定允许差值应符合：当  $w_{cme} \leq 15\%$  时，不大于 1%；当侧  $w_{cme} > 15\%$  时，不大于 2%。取算术平均值。

10.0.8 记录格式应符合表 10.0.8 的要求。

表 10.0.8 离心含水当量试验记录

试样 编号	称量 盒号	离心后的 试样质量 (g)	烘干试样 质量(g)	离心含 水当量 (%)	离心含水当 量平均值 (%)	备 注
		(1)	(2)	$\left( \frac{(1)}{(2)} - 1 \right) \times 100$		

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

11 相对密度试验

11.1 一般规定

11.1.1 相对密度是无黏性土处于最松散孔隙比与天然状态（或给定）孔隙比之差和最松散态孔隙比与最紧密状态孔隙比之差的比值。

11.1.2 本试验测定砂的最小干密度采用漏斗法或量筒法，测定最大干密度采用振动锤击法；测定碎石类土的最小和最大干密度分别采用固定体积法和振动台振动加重物法。

11.1.3 砂的相对密度试验适用于颗粒粒径小于 5mm，且粒径 2~5mm 的试样质量不大于试样总质量的 15%及粒径小于 0.075mm 的颗粒质量不大于总土质量的

12%；砾和碎石类土的相时密度试验适用于最大粒径为 60mm，且粗颗粒中小于 0.075mm 的颗粒含量不得大于 12%。

## 11.2 砂的相对密度试验

### 11.2.1 本试验应采用仪器设备：

1 量筒：容积 500mL 和 1000mL，后者内径应大于 6cm；

2 长颈漏斗：颈管内径约 1.2 cm，颈口磨平，见图

11.2.1—1；

3 锤形塞：直径约 1.5cm 的圆锥体镶于铁杆上；

4 砂面拂平器，见图 11.2.1—1；

5 金属容器：容积 250mL，内径 5cm，高 12.7cm；容积 1000mL，内径 10cm，高 12.7cm；

6 振动叉，见图 11.2.1—2；

7 击锤：锤质量 1.25kg，落高 15cm，锤底直径 5cm，见图 11.2.1—2；

8 天平：称量 5000g，分度值 1g。

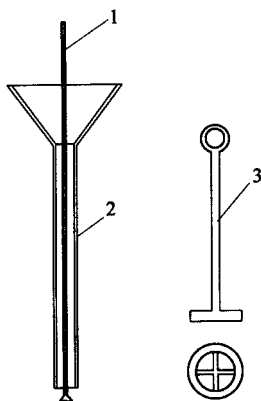


图 11.2.1—1 漏斗及拂平器

1—锥形塞；2 口长颈漏斗；3—砂面拂平器

### 11.2.2 最小干密度试验应按下列步骤进行：

1 取代表性的烘干或充分风干的土样，用手搓匀或用圆木棍在橡皮板上碾散，然后过 5mm 筛，并剔除大于 5mm 的颗粒。拌合均匀后取 1500g 试样进行试验。

2 将锥形塞杆自漏斗下口穿入，并向上提起，使锥体堵住漏斗管口，一并放

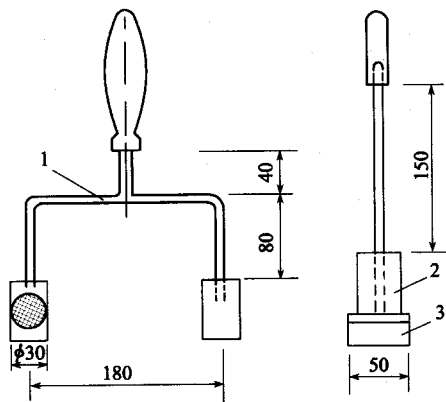


图 11.2.1—2 振动叉及击锤

1—振动叉；2—击锤；3—锤座

入容积 1000mL 的量筒中，使其下端与筒底接触。

3 称取试样 700g，准确至 1g，均匀倒入漏斗中，将漏斗与塞杆同时提高，移动塞杆使锥体略离开管口，管口应经常保持高出砂面约 1~2cm，使试样缓慢且均匀的落入量筒中。

4 待试样全部落入量筒后，取出漏斗与锥形塞，用砂面拂平器将砂面拂平，勿使量筒振动，然后测读砂样的体积，估读至 5mL。

5 用手掌或橡皮板堵住量筒口，将量筒倒转，然后缓慢的转回到原来位置，如此重复几次，记下试样在量筒内所占体积的最大值，估读至 5mL。

6 取上述两种方法测得的较大体积值，计算最小干密度。

7 当试样中不含大于 2mm 的颗粒时，可取试样 400g，采用 500mL 的量筒，按上述步骤进行试验。

### 11.2.3 最大干密度试验应按下列步骤进行：

1 取代表性试样约 4kg，按本规程第 11.2.2 条第 1 款进行处理。

2 将试样分三次倒入金属容器内进行振击。第一次取试样 600~800g（其数量应控制在振击后试样体积略大于容器容积的 1/3）倒入 1000mL 的容器内，用振动叉以每分钟各 150~200 次的速度敲打容器两侧，并在同一时间内用击锤锤击试样表面，每分钟 30~60 次，直至试样体积不变为止（一般约 5~10min），敲打时要用足够的力量使试样处于振动状态；锤击时，粗砂可用较少击数，细砂应用较多

击数。

3 按本条第 2 款步骤进行后两次的装样、振动和锤击，第三次装样时应先在容器口上安装套环。

4 最后一次振毕，取下套环，用修土刀齐容器顶面刮去多余试样，称容器和试样总质量，准确至 1g。

5 当试样中不含大于 2mm 的颗粒时，可每次取试样 500g，用 250mL 金属容器，分 3 层按上述步骤进行试验。

11.2.4 试验结果应按下列公式计算：

1 最小与最大干密度

$$\rho_{d\min} = \frac{m_d}{V_{\max}} \tag{11.2.4—1}$$

$$\rho_{d\max} = \frac{m_d}{V_{\min}} \tag{11.2.4—2}$$

式中  $\rho_{d\min}$ ——最小干密度 (g/cm<sup>3</sup>)；计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_{d\max}$ ——最大干密度 (g/cm<sup>3</sup>)；计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>；

$m_d$ ——试样干质量 (g)；

$V_{\max}$ ——最松散状态的试样体积 (cm<sup>3</sup>)；

$V_{\min}$ ——最密实状态的试样体积 (cm<sup>3</sup>)。

2 最大与最小孔隙比

$$e_{\max} = \frac{\rho_s}{\rho_{d\min}} - 1 \tag{11.2.4—3}$$

$$e_{\min} = \frac{\rho_s}{\rho_{d\max}} - 1 \tag{11.2.4—4}$$

式中  $e_{\max}$ ——最大孔隙比；

$e_{\min}$ ——最小孔隙比；

$\rho_s$ ——土的颗粒密度 (g/cm<sup>3</sup>)。

3 相对密度

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \tag{11.2.4—5}$$

$$D_r = \frac{\rho_{d\max} (\rho_d - \rho_{d\min})}{\rho_d (\rho_{d\max} - \rho_{d\min})} \tag{11.2.4—6}$$

式中  $D_r$ ——相对密度，计算至 0.01；

$e_0$ ——天然孔隙比或填土的孔隙比；  
 $\rho_d$ ——天然干密度或填土的干密度（g/cm<sup>3</sup>）。

11.2.5 最小干密度与最大干密度均应进行平行测定，平行差值不得大于 0.03g/cm<sup>3</sup>，取其算术平均值。

11.2.6 记录格式应符合表 11.2.6 的要求。

表 11.2.6 砂的相对密度试验记录

试样编号		试样说明					
		试验项目		最大孔隙比		最小孔隙比	
		试验方法		漏斗法		锤击法	
试样加容器质量		(1)					
容器质量		(2)					
试样质量		(3)	(1)－(2)				
试样体积		(4)					
干密度		(5)	(3)＋(4)				
平均干密度		(6)					
颗粒密度		(7)					
孔隙比		(8)					
天然干密度		(9)					
天然孔隙比		(10)					
相对密度		(11)					

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

11.3 碎石类土的相对密度试验

11.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 最大干密度试验装置，如图 11.3.1 所示。它由振动台、试样筒、套筒、加重盖板及加重物组成。
- 1) 振动台：具有隔振装置的振动台。台面尺寸为 762mm×762mm，振动台的负荷应满足试样筒、套筒、加重盖板、加重物及试样等总质量要求。振动台频率应为 40～60Hz，振幅为 0～2 可调。
- 2) 试样筒：Ⅰ及Ⅱ号试样筒的尺寸见表 11.3.1。试样筒体积应进行校准：用量程 0～300mm，分度值 0.05mm，的游标卡尺直接测量试样筒的尺寸，并绘制出

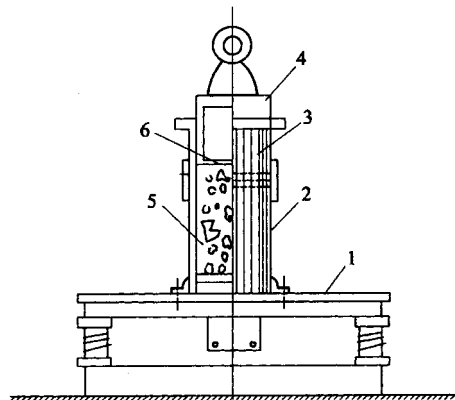


图 11.3.1 最大干密度试验装置

1—振动台；2—试样筒；3—套筒；

4—加重物；5—试样；6—加重盖板

体积与高度的关系曲线以备使用。测量时准确到 0.1mm。计算体积时，Ⅰ号试样筒准确到 25cm<sup>3</sup>，Ⅱ号筒准确到 10cm<sup>3</sup>。

表 11.3.1 试样筒尺寸

试样筒编号	内径 $D$ (cm)	高度 $H$ (cm)	体积 $V$ (cm <sup>3</sup> )	允许最大粒径 $d_{\max}$ (mm)	试样质量 $m$ (kg)
Ⅰ	30	34	24033	60	40-50
Ⅱ	20	23	7226	20	10-15

4) 加重盖板：盖板为 1.2cm 厚的钢板，直径略小于试样筒，中心应有 15mm 穿通的提吊螺孔。

5) 加重物：每一种尺寸的试样筒有一重物。对所用的试样筒，加重盖板与加重物的总压力为 14kPa。

2 测针架及测针：测针的分度值为 0.1mm。

3 灌注设备：带管嘴的漏斗。管嘴直径 10~20mm，漏斗喇叭口径  $\phi 00 \sim 150\text{mm}$ ，管嘴长度视套筒长度而定。

4 试验筛：

- 1) 粗筛：孔径分别为 60、40、20、10、5mm；
- 2) 细筛：孔径分别为 5、2、1、0.5、0.25、0.125、0.075mm。
- 5 台秤：称量 50kg，分度值 50g；称量 10kg，分度值 5g。
- 6 其他设备：搅拌盘、提吊设备、铁铲、毛刷、秒表、钢尺、卡尺、称料筒、大瓷盘等。

**11.3.2** 试样制备应选用代表性试样在 105℃～110℃下烘干，并分级过筛贮存。筛分过程中应使弱胶结的土样能充分剥落。

**11.3.3** 最小干密度试验应按下列步骤进行：

- 1 根据试样的最大粒径，选用灌注设备及试样筒。称筒质量。
- 2 对粒径小于 10mm 的烘干试样，采用固定体积法。将拌匀的试样，从漏斗管嘴均匀徐徐地注入试样筒。注入时随时调整漏斗管口的高度，使自由下落的距离保持在 2～5cm 之间。同时要从外侧向中心呈螺旋线移动，使土层厚度均匀增高而不产生大小颗粒分离。当充填到高出筒顶约 25mm 时，用钢直刀沿筒口刮去余土。注意在操作时不得扰动试样筒。称筒及试样总质量。

- 3 对粒径大于 10mm 的烘干试样，采用固定体积法。用大勺或小铲将试样填入试样筒内。装填时小铲应贴近筒内土面，使铲中试样徐徐滑入筒内，直至填土高出筒顶，余土高度不应超过 25mm 为止，然后将筒面整平。当有大颗粒露顶时，凸出筒顶的体积应能近似地与筒顶水平面以下的大孔隙体积相抵消，称筒及试样总质量。

- 4 最小干密度测定应按上述步骤进行平行试验。每次测定值都列出，不取平均值。

- 5 对于超径料含量较多的粗颗粒土，为求得原级配的相对密度值，应进行最大粒径以下不同模型比的最小干密度系列试验。

**11.3.4** 最大干密度试验可采用干法或湿法按下列步骤进行：

- 1 干法：先拌匀烘干试样，将试样装填于试样筒内，称筒与试样总质量。装填方法与最小干密度方法相同。通常情况是直接用最最小干密度试验时装好的试样筒，放在振动台上，加上套筒，把加压盖板放在土上面依次安放好加重物。随即将振动台调整至最优振幅 0.64mm，振动 8min 后，卸除加重物和套筒，测读试样高度，计算试样体积。

- 2 湿法：在烘干试样中加适量的水，或用天然的湿土进行装样。装完试样后，

应立即振动 6min。对于高含水率的试样，为了防止某些土在振动过程中产生颗粒跳动，振动 6min 时，应随时减小振动台的振幅。振动后吸除土面上的积水，依次装上套筒，施加重物，然后固定在振动台上，振动 8min 后，依次卸除加重物与套筒。测读试样高度，称试样筒与试样总质量。取代表性试样测含水率。

3 最大干密度测定应进行平行试验。每次测定值都列出，不取平均值。

11.3.5 试验结果应按下列公式计算：

1 最小、最大干密度和试样体积

1) 最小干密度

$$\rho_{dmin} = \frac{m_d}{V_c} \tag{11.3.5—1}$$

2) 最大干密度

$$\rho_{dmax} = \frac{m_d}{V_s} \tag{11.3.5—2}$$

3) 试样体积

$$V_s = V_c - (R_i - R_t) \cdot A \tag{11.3.5—3}$$

式中  $V_c$ ——试样筒的体积 (cm<sup>3</sup>)；

$V_s$ ——试样体积 (cm<sup>3</sup>)；

$R_t$ ——振动后加压盖板上百分表的读数 (mm)；

$R_i$ ——起始读数 (mm)；

$A$ ——试样筒断面积 (cm<sup>2</sup>)。

2 相对密度  $D_r$

$$D_r = \frac{\rho_{dmax} - (\rho_d - \rho_{dmin})}{\rho_d (\rho_{dmax} - \rho_{dmin})} \tag{11.3.5—4}$$

$$D_r = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}} \tag{11.3.5—5}$$

3 压实度

$$R_c = \frac{\rho_d}{\rho_{max}} \tag{11.3.5—6}$$

式中  $R_c$ ——压实度，以小数计。

4 密度指数：

$$I_D = \frac{\rho_d - \rho_{min}}{\rho_{dmax} - \rho_{min}} \times 100 \tag{11.3.5—7}$$



式中  $I_D$ ——密度指数。

11.3.6 记录格式应符合表 11.3.6 的要求。

表 11.3.6 碎石类土相对密度试验记录

试样编号		试样说明			
试验项目		最大孔隙比 $e_{\max}$	最小干密度 $\rho_{d\min}$	最小孔隙比 $e_{\min}$	最大干密度 $\rho_{d\max}$
试验方法		干 法			
		湿 法			
试样加试样筒质量	(kg)				
试样筒质量	(kg)				
试样质量	(kg)				
试样体积	(cm <sup>3</sup> )				
干密度	(g/cm <sup>3</sup> )				
平均干密度	(g/cm <sup>3</sup> )				
颗粒密度	(g/cm <sup>3</sup> )				
孔隙比					
天然(给定)干密度	(g/cm <sup>3</sup> )				
天然孔隙比					
相对密度					
压实度					
密度指数	(%)				

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

12 天然坡角试验

12.0.1 天然坡角是砂类土在堆积时其天然坡面和水平面所形成的最大倾角。

12.0.2 本试验的目的是测定砂类土在充分风干状态和水下状态的自然坡角。

12.0.3 本试验采用圆盘提升法。适用于粒径小于 5mm 且不含粉粒的砂类土。

12.0.4 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天然坡角测定仪：见图 12.0.4 所示。圆盘直径 10cm，适用于粒径小于

2mm 的砂类土；圆盘直径 20cm，适用于粒径小于 5mm 的砂类。

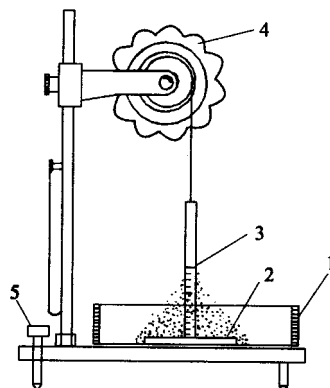


图 12.0.4 天然坡角测定仪

1—底盘；2—圆盘；3—铁杆；

4—制动器；5—水平螺丝

2 其他：勺、水槽等。

#### 12.0.5 试验操作应按下列步骤进行：

1 取代表性的充分风干试样若干。转动制动器，使圆盘落在底盘中。用勺沿铁杆四周倾倒试样，勺离试样表面的高度应始终保持在 1cm 左右，直至圆盘的外缘完全蓄满为止。

2 徐徐转动制动器，使圆盘平稳升起，直至离开底盘内的试样为止。读取锥顶与铁杆接触处的刻度 ( $\tan\alpha_c$ )。

3 如需继续测定水下状态的天然坡角时，应重复以上步骤测读锥顶及铁杆接触处的刻度后，将盛满试样的圆盘缓缓地沉入水槽中。当锥体全部浸入水中后，停止下沉，待充分饱和，直至无气泡上升为止。

4 再徐徐转动制动器，使圆盘由水中升起。当锥体露出水面时，再读取锥顶与铁杆接触处的刻度 ( $\tan\alpha_w$ )。

5 根据已测得的值  $\tan\alpha_c$  和  $\tan\alpha_w$ ，可从三角函数表中查得天然坡角。

6 本试验应进行两次平行测定，取算术平均值，以整数（度）表示。

#### 12.0.6 记录格式应符合表 12.0.6 的要求。

表 12.0.6 天然坡角试验记录

试样编号	充分风干状态天然坡角			水下状态天然坡角			备注
	读 数		平均值	读 数		平均值	
	$\tan\alpha_c$	( $^{\circ}$ )	( $^{\circ}$ )	$\tan\alpha_w$	( $^{\circ}$ )	( $^{\circ}$ )	

复核\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日

### 13 毛细管水上升高度试验

#### 13.1 一般规定

13.1.1 土的毛细管水上升高度是水在土孔隙中因受毛细管作用而上升的最大高度；毛细管水强烈上升高度是对路基工程易发生危害的那部分毛细管水上升高度。

13.1.2 本试验的目的是测定土的毛细管水上升高度或毛细管水强烈上升高度。

13.1.3 本试验应根据不同的土类，采用下列方法：

- 1 直接观测法：适用于粗砂、中砂。
- 2 土样管法：适用于细砂、粉土和毛细管水上升高度较小的黏性土。
- 3 塑限与含水率曲线交会法：适用于测定黏性土的毛细管水强烈上升高度。

#### 13.2 直接观测法

13.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 直接观测法装置如图 13.2.1 所示，包括支架、盛水器及厚壁玻璃管。厚壁玻璃管内径为 2~3cm，长约 100cm，零刻度离底端 1cm，刻度读数自下而上，分度值 0.5cm。底端用金属网布包扎。
- 2 天平：称量 2000g，分度值 0.1g。
- 3 其他：漏斗、捣棒、锥形瓶、管夹等。

13.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 试样制备应符合本规程第 3.3.2 条的规定。从制备好的试样中取 1500g，用漏斗分数次装入玻璃管中，并用捣棒轻轻捣实，使密度均匀，并达到所需的干密度。
- 2 将装好试样的玻璃管垂直插入盛水器中，使零刻度低于盛水器口，用两个

管夹将玻璃管固定在支架上。

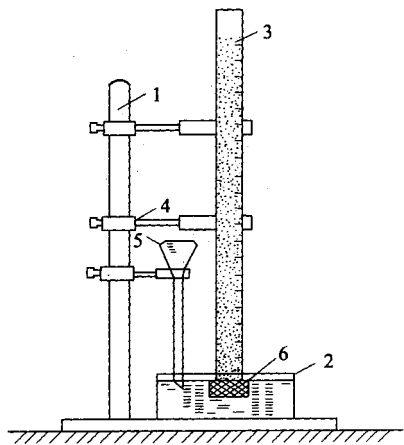


图 13.2.1 直接观测法装置

1—支架；2—盛水器；3—玻璃管；4—管夹；  
5—锥形瓶；6—金属网布

3 往盛水器中注水，使水面与玻璃管上的零刻度齐平。为了保持试验过程中盛水器内水位不变，倒扣一个盛水的小锥形瓶。锥形瓶口安一细玻璃管与盛水器中的水面接触，用管夹将三角瓶固定在支架上。

4 注水后根据玻璃管中试样颜色变化，测记毛细管水上升高度，准确至 0.5cm。测记时间为 5、10、20、30、60min，以后每隔 3~4h 测记一次，直至上升高度不变为止，取稳定值即为毛细管水上升高度。

13.2.3 记录格式应符合表 13.2.3 的要求。

表 13.2.3 直接观测法毛细管水上升高度试验记录

试 样 编 号								试样状态
仪 器 编 号								
毛细管 水上升 高 度 (cm)	日	时	分					试样干密度 = g/cm³ 试样孔隙比 =

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

13.3 土样管法

### 13.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

#### 1 土样管毛管仪如图 13.3.1 所示：

1) 玻璃筒（或一端呈刃口的金属筒）。直径 4~6cm，高约 12cm，底部装有带孔橡皮塞。

2) 测压管：直径约 1cm，长度约 200cm。

3) 排气管：安有橡皮管和止水管夹。

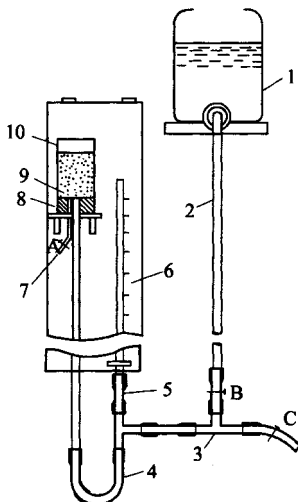


图 13.3.1 土样管毛管仪

1—供水瓶；2—玻璃管；3—三通接头；

4—橡皮管；5—测压管；6—直尺；

7—排气管；8—橡皮塞；9—筛布；

10—玻璃筒；A、B、C 为管夹

4) 直尺：刻度分度值 0.5cm，零刻度与试样底部齐平。

2 天平：称量 2000g，分度值 0.1g。

3 其他：供水瓶、切土筒、盛土皿、切土刀、捣棒、称量盒等。

### 13.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 关闭管夹 A、B、C，供水瓶注满水。取代表性风干试样 500~600g，经研散后分数次装入底部铺有金属网布的玻璃筒内，并逐次用捣棒捣实，使其均匀，达到所需的孔隙比，直至试样高度达 8cm 为止。如系原状试样，用有刃口的金属筒削取试样高约 8cm，推入玻璃筒中，使距筒端约 2cm。四周间隙用蜡密封，玻璃筒

下口用铺有筛布的橡皮塞塞紧，不使漏气。

若土中含有较多黏土颗粒，则在筛布上铺约 1cm 厚的粗砂缓冲层，此时直尺零点应与缓冲层顶面齐平。

2 开启管夹 A、B，使水缓缓地经测压管上升至试样下部。排尽管内空气至排气管流出的水中无气泡时，关闭管夹 A、B。

3 间断地缓慢开启或关闭管夹 B，使水面由下而上饱和试样，至试样顶面见水时，关闭管夹 B。

4 缓缓打开管夹 C，使测压管右边的水面逐渐下降，至管内水面停止下降或开始上升时，记下此时测压管中水面读数，准确至 0.5cm，即为毛细管水上升高度。

5 重复本条第 2~4 款步骤，进行两次以上测定，取其两次相接近结果的算术平均值。

13.3.3 记录格式应符合表 13.3.3 的要求。

表 13.3.3 土样管法毛管水上升高度试验记录

试验日期											
试样编号											
试样的质量(g)											
试样体积(cm³)											
试样密度(g/cm³)											
含水率(%)											
干密度(g/cm³)											
孔隙比											
仪器编号											
毛管水上升高度(cm)											
平均值(cm)											

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

13.4 塑限与含水率曲线交会法

13.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 4.2.1 条和第 8.4.1 条的要求。

13.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 于试坑壁按间距 15~20cm 自上而下采取土样，并按本规程第 4.2.2 条测定各间距所取土样的含水率。

2 根据试坑土质变化情况分层，并按本规程第 8.4.2 条测定各分层土的塑限。

13.4.3 试验结果应按下列公式计算和绘图：

1 按本规程式 (4.2.3) 计算土的含水率。

2 按本规程式 (8.4.3) 计算土的塑限。

3 以取样深度为纵坐标，含水率为横坐标，绘制深度与含水率关系曲线。再用竖直线段在图上标出相应土层的塑限，竖直线段与含水率曲线最上面的交点，即为毛细管水强烈上升高度的顶点，此点到地下水位的距离为毛细管水强烈上升高度，图 13.4.3 所示。

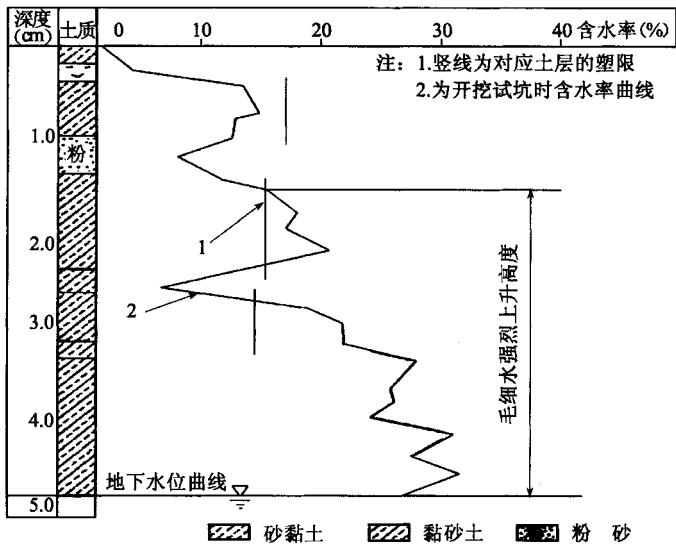


图 13.4.3 塑限与含水率曲线交会法确定毛细管水强烈上升高度示意

13.4.4 本试验应进行平行测定，平行测定允许差值应符合本规程第 4.2.4 条的规定。

13.4.5 记录格式应符合表 13.4.5 的要求。

表 13.4.5 塑线与含水率试验记录

试样编号	盒号	湿土质量 (g)	干土质量 (g)	含 水 率 (%)	塑 限 (%)
		(1)	(2)	$(3)=\left(\frac{(1)}{(2)}-1\right)\times 100$	(4)

复核\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日

14 渗透试验

14.1 一般规定

14.1.1 渗透是水在土孔隙中运动的现象。当土中渗透水呈层流状态时，则渗透速度  $v$  与水力坡降  $i$  成正比，当水力坡降  $i=1$  时的渗透速度称为土的渗透系数  $k$ 。以达西定理表示为：

$$v=ki$$

14.1.2 本试验的目的是测定土的渗透系数  $k$ 。供设计与施工开挖工程中选择排水、降水方法，计算斜坡稳定、坝基渗流，确定路堤、河堤断面浸润线位置等。

14.1.3 本试验应根据不同土类，采用下列方法：

- 1 常水头法：适用于砂土及含少量砾石的无黏聚性土。
- 2 变水头法：适用于粉土和黏性土。

14.1.4 本试验用水应采用纯水或洁净天然水。在试验前必须用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时水温宜高于室温  $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

14.2 常水头法

14.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 常水头渗透仪装置如图 14.2.1 所示。其中：封底金属圆筒内径为 10cm，高 40cm，当使用其他尺寸的圆筒时，圆筒内径应大于试样最大粒径的 10 倍；玻璃测压管内径宜为 0.6cm；分度值为 0.1cm。
- 2 天平：称量 5000g，分度值 1.0g。
- 3 量筒：容积 500mL。
- 4 温度计：分度值  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。



5 其他附属设备：秒表、木锤、橡皮管、支架等。

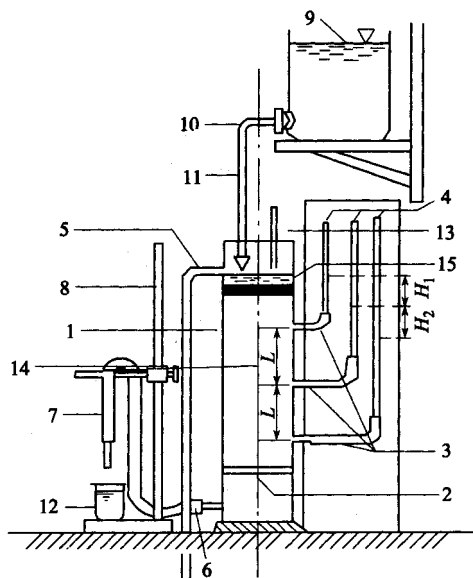


图 14.2.1 常水头渗透仪装置

1—封底金属圆筒；2—金属孔板；3—测压孔；4—玻璃测压管；

5—溢水孔；6—渗水孔；7—调节管；8—滑动支架；

9—容量为 5000mL 的供水瓶；10—供水管；11—止水夹；

12—容量为 500mL 的量筒；13—温度计；14—试样；15—砾石层

#### 14.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 按图 14.2.1 装好仪器，并检查各管路接头处是否漏水。将调节管与供水管连通，从渗水孔向圆筒内充水至水位略高于金属孔板，关止水夹。

2 取具有代表性的风干试样 3~4kg，称量准确至 0.1g，并测定含水率。

3 用直尺量测圆筒中金属孔板至筒顶的高度，然后将风干试样分层装入圆筒内，每层厚 2~3cm，用木锤轻轻击实到一定厚度，以控制到所要求的孔隙比。当试样含黏粒较多时，应在金属孔板上加铺约 2cm 的粗砂过滤层，防止试验时细粒流失。每层试样装好后使水由圆筒底部向上渗入，使试样逐渐饱和至顶面。如此逐层装填试样并进行饱和，直至最后一层试样高出测压孔 3~4cm 为止。在试样上端同样铺约 2cm 厚度的砾砂作缓冲层。待最后一层试样饱和后，继续使水位缓缓上升至溢水孔有水溢出。

4 试样装好后,量测试样顶面至圆管上口的高度,计算试样净高。称剩余试样质量,准确至 0.1g,计算装入的试样总质量。

5 静置数分钟后,检查各测压管水位是否与溢水孔齐平。当不齐平时,可用吸水球对准水位低的测压管口进行吸水排气,直至水位齐平为止。

6 提高调节管,使其高于溢水孔,然后将调节管与供水管分开,并将供水管放入圆筒内,开止水夹,使水由上端注入圆筒内。

7 降低调节管至试样上部 1/3 高度处,形成水位差,使水渗过试样经调节管流出。在渗透过程中应调节供水管止水夹,使进入圆筒的水量略多于渗出的水量,溢水孔始终有余水溢出,以保持圆筒内水位不变,使试样处于常水头下渗透。

8 测压管水位稳定后,记录其水位,并计算各测压管间的水位差。

9 开动秒表,同时用量筒自调节管口接取经一定时间的渗透水,并重复一次。在接取渗透水时,调节管口不可淹没于水中。

10 测记进水与出水处的水温,取平均值。

11 降低调节管至试样的中部及下部 1/3 处,以改变水力坡降,按本条第 7~10 款步骤重复进行测定。

12 根据需要,可改变试样的孔隙比,测定相应的渗透系数。

#### 14.2.3 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 试样的干密度  $\rho_d$  及孔隙比  $e$ :

$$\rho_d = \frac{m_d}{A \cdot h} \quad (14.2.3-1)$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (14.2.3-2)$$

式中  $\rho_d$ ——试样干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m_d$ ——试样干质量 (g);

$A$ ——试样面积 ( $\text{cm}^2$ );

$h$ ——试样高度 (cm);

$e$ ——试样孔隙比;

$\rho_s$ ——土的颗粒密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

2 渗透系数  $k_T$  及  $k_{20}$

$$k_T = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \quad (14.2.3-3)$$

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (14.2.3-4)$$

式中  $k_T$ ——水温  $T^\circ\text{C}$  时试样的渗透系数 ( $\text{cm/s}$ )，取两位有效数乘以  $10^{-n}$  ( $n$  为整数)；

$Q$ ——时间  $t$  秒内渗透水量 ( $\text{cm}^3$ )；

$L$ ——两测压孔中心间的试样高度 ( $10\text{cm}$ )；

$H$ ——平均水位差 ( $\text{cm}$ )；

$t$ ——时间 ( $\text{s}$ )；

$A$ ——试样面积 ( $\text{cm}^2$ )；

$k_{20}$ ——标准温度 ( $20^\circ\text{C}$ ) 时试样的渗透系数 ( $\text{cm/s}$ )；

$\eta_T$ —— $T^\circ\text{C}$  时水的动力黏度 ( $10^{-6}\text{kPa}\cdot\text{s}$ )；

$\eta_{20}$ —— $20^\circ\text{C}$  时水的动力黏度 ( $10^{-6}\text{kPa}\cdot\text{s}$ )；

动力黏度比  $\eta_T/\eta_{20}$  与温度关系，可按表 14.2.3 确定。

注：平均水位差  $H$  可按  $(H_1 + H_2)/2$  计算。 $H_1$  为上、中测压管水位差 ( $\text{cm}$ )， $H_2$  为中、下测压管水位差 ( $\text{cm}$ )。

3 当进行不同孔隙比下的渗透系数试验时，可在单对数坐标纸上绘制以孔隙比  $e$  为纵坐标，渗透系数  $k_{20}$  为横坐标的  $e - \lg k_{20}$  关系曲线，如图 14.2.3 所示。

#### 14.2.4 试验允许差应符合下列规定：

在测得的渗透系数结果中应取 3~4 个允许差值小于  $2.0 \times 10^{-n}\text{cm/s}$  的数值，求其平均值，作为试样在该孔隙比  $e$  的渗透系数。

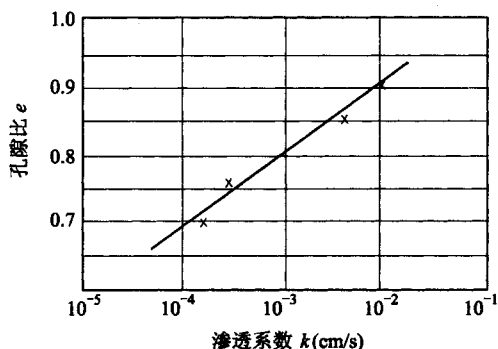


图 14.2.3 孔隙比与渗透系数关系曲线

表 14.2.3 不同温度水的动力黏度比

温度(℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度(℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度(℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度(℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度(℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$
5	1.501	10.0	1.297	15.0	1.133	20.0	1.000	27.0	0.850
5.5	1.478	10.5	1.297	15.5	1.119	20.5	0.988	28.0	0.833
6.0	1.455	11.0	1.261	16.0	1.104	21.0	0.976	29.0	0.815
6.5	1.435	11.5	1.243	16.5	1.090	21.5	0.964	30.0	0.798
7.0	1.414	12.0	1.227	17.0	1.077	22.0	0.953	31.0	0.781
7.5	1.393	12.5	1.211	17.5	1.066	22.5	0.943	32.0	0.765
8.0	1.373	13.0	1.194	18.0	1.050	23.0	0.932	33.0	0.750
8.5	1.353	13.5	1.176	18.5	1.038	24.0	0.910	34.0	0.735
9.0	1.334	14.0	1.163	19.0	1.025	25.0	0.890	35.0	0.720
9.5	1.315	14.5	1.148	19.5	1.012	26.0	0.870		

注:不同温度时水的动力黏度,见本规程表 7.3.4—3。

14.2.5 记录格式应符合表 14.2.5 的要求。

14.3 变水头法

14.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 变水头装置:由渗透容器、变水头管、供水瓶、进水管等组成,如图 14.3.1。变水头管内径应均匀,且不大于 10cm,长度 1.5m 左右,固定在刻度板上,刻度最小分度值为 1.0mm。
- 2 渗透容器:由环刀、透水石、套环及上、下盖组成。环刀内径 61.8mm,高 40mm;透水石的渗透系数应大于  $10^{-3}$ cm/s。
- 3 其他:100mL 量筒、秒表、温度计、切土刀、凡士林、橡皮管等。

14.3.2 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 根据工程需要,用环刀在垂直或平行土样层面切取原状试样或由扰动土制备成给定密度的试样。切土时不得用切土刀反复涂抹试样表面。
- 2 将容器套环内壁涂抹一薄层凡士林,然后将盛有试样的环刀推入套环内,擦净挤出的凡士林,装好带有透水石和垫圈的上下盖,拧紧螺丝,使其不漏气,不漏水。对不易透水的试样,按本规程第 3.5.3 条的规定进行抽气饱和;对饱和试样



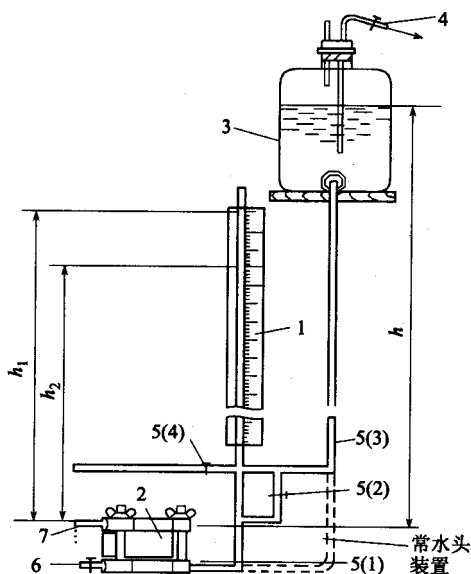


图 14.3.1 变水头渗透装置

1—变水头管；2—渗透容器；3—供水瓶；  
4—接水源管；5—进水管夹；6—排气管；7—出水管

和易透水的试样，直接用变水头装置的水头进行试样饱和。

3 将渗透容器的进水口与水头装置连通，关闭管夹 5 (2)、5 (3)，开启管夹 4，使供水瓶注满水。然后关闭管夹 4 开启管夹 5 (2) 及 5 (3)，使水头管内充满水。

4 将容器侧立，排气管 6 向上，并打开排气管管夹。打开进水口管夹 5 (1)，充水排除渗透容器底部的空气，直至溢出水无夹带气泡为止。关闭排气管管夹，放平渗透容器。

5 在一定水头（应根据试样结构疏松程度确定，且不宜大于 2.0m）作用下，静置一段时间，待上出水管口有水溢出时，可开始测定。

6 将水头管充水至需要高度后，关闭管夹 5 (2)。当水位降至所选定的开始水头  $H_1$  时，开动秒表，经过时间  $t$  后，测记终了水头  $H_2$ 。如此连续测记 2~3 次后，再使水头管的水位回升至另一需要高度，重复以上步骤试验 5~6 次。每次测记水头时同时测定水温，准确至 0.5℃。

14.3.3 试验结果应按下列公式计算：

1 渗透系数  $k_T$ :

$$k_T=2.3\frac{aL}{A(t_2-t_1)}\lg\frac{H_1}{H_2}$$

(14. 3. 3)

式中  $a$ ——变水头管的断面积 (cm<sup>2</sup>);

2. 3——ln 和 lg 的变换因数;

$L$ ——渗径, 即试样高度 (cm);

$t_1, t_2$ ——测读水头的起始和终止时间 (s);

$H_1, H_2$ ——起始和终止水头 (cm)。

2 标准温度下的渗透系数  $k_{20}$ 应按式 (14. 2. 3—4) 计算。

14. 3. 4 试验允许差应符合本规程第 14. 2. 4 条规定。

14. 3. 5 记录格式应符合表 14. 3. 5 的要求:

表 14. 3. 5 变水头渗透试验记录表

V 试样编号\_\_\_\_\_测压管断面积 (a) \_\_\_\_\_cm<sup>2</sup>孔隙比\_\_\_\_\_

仪器编号\_\_\_\_\_试样高度 (L) \_\_\_\_\_cm试样面积 (A) \_\_\_\_\_

cm<sup>2</sup>

开始时间 $t_1$ (dhmin)	终了时间 $t_1$ (dhmin)	经过时间 $t$ (s)	开始水头 $H_1$ (cm)	终了水头 $H_2$ (cm)	$2.3\frac{aL}{At}$	$\lg\frac{H_1}{H_2}$	水温 $T$ ℃ 时的渗透 系数 $k_T$ (cm/s)	水温 (℃)	校正系数 $\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	渗透系数 $k_{20}$ (cm/s)	平均渗透 系数 $k_{20}$ (cm/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		(2)－(1)			$2.3\frac{aL}{A(3)}$	$\lg\frac{(4)}{(5)}$	(6)×(7)			(8)×(9)	$\frac{\sum(11)}{n}$

## 15 固结试验

### 15.1 一般规定

**15.1.1** 饱和土体受到压力后，孔隙中的部分水逐渐从土体中排出，土中孔隙水压力逐渐减小，作用在土骨架上的有效应力逐渐增加，土体积随之压缩，直到变形达到稳定为止。土体这一变形的过程称为固结。非饱和土在外力作用下的变形通常是由孔隙中气体排出或压缩所引起，主要取决于有效应力的改变，土体的这种变形称为压缩。

**15.1.2** 本试验的目的是测定试样在侧限与轴向排水条件下的变形和压力，或孔隙比与压力的关系、变形和时间的关系，以便计算土的压缩系数  $\alpha_v$ 、压缩指数  $C_c$ 、回弹指数  $C_s$ 、压缩模量  $E_s$ 、固结系数  $C_v$  及原状土的先期固结压力等。

**15.1.3** 本试验应优先采用标准固结试验。该方法适用于饱和的黏性土，当只进行压缩试验时，允许用于非饱和土。

**15.1.4** 当采用标准固结试验的时间不能满足工程要求时，可采用 12h 快速固结试验。该方法适用于测定一般黏性土的先期固结压力和压缩指数的试验。

**15.1.5** 对沉降计算要求精度不高，主要为求压缩系数和压缩模量时，可采用 1h 快速压缩试验。该方法适用于渗透性较大的非饱和土。

### 15.2 标准固结试验

**15.2.1** 本试验应采用下列仪器设备：

1 固结容器：由环刀、护环、透水板、加压上盖和水槽等组成，如图 15.2.1 所示。固结仪变形量应按本规程附录 D 进行校正。

1) 环刀：内径为 61.8mm 和 79.8mm，高度为 20mm。

2) 透水板：透水石或不受腐蚀的金属材料制成，其渗透系数必须大于试样的渗透系数。顶部透水板的直径应小于环刀内径 0.2~0.5mm。

2 加压设备：能垂直施加各级规定的压力，无冲击影响。

3 变形量测设备：百分表量程 10mm，分度值为 0.01mm 或准确度为全量程 0.2% 的位移传感器。

4 天平：称量 500g，分度值 0.1g；称量 100g，分度值 0.01g。

5 其他：切土刀、钢丝锯、称量盒、烘箱、秒表等。

**15.2.2** 试验操作应按下列步骤进行：



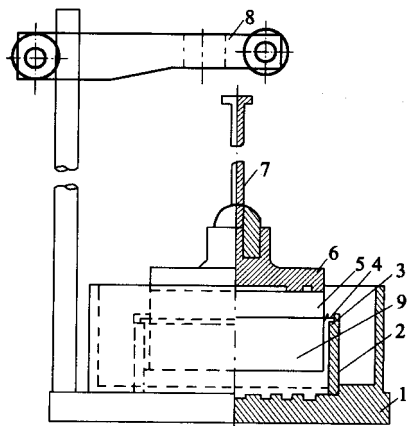


图 15.2.1 固结容器示意

- 1—水槽；2—护环；3—环刀；4—导环；5—透水板；  
6—加压上盖；7—位移计导杆；8—位移计架；9—试样

1 根据工程需要，切取原状土试样或制备给定密度与含水率的扰动土试样，制备方法按本规程第 3.2 节和第 3.3 节规定进行。需要饱和时，按第 3.5.3 条的规定进行抽气饱和。

2 在固结容器内放入护环、透水板、滤纸；将带有环刀的试样装入护环内，在试样上再放入滤纸、透水板、加压盖板，置于加压框架下；对准加压框架的中心，安装百分表或位移传感器。当试样为饱和土时，上、下透水板应事先浸水饱和；对非饱和状态的试样，透水板和滤纸的湿度应与试样湿度相接近。

3 施加 1kPa 的预压力，使试样与仪器上下各部件之间接触良好，将百分表或位移传感器调整到零位或测读初始值。

4 记录初始读数后，卸除预压力，开始施加第一级压力，第一级压力的大小应根据土的软硬程度而定，可分别为 12.5、25 或 50kPa。

5 饱和试样或工程上要求浸水的试样，在施加第一级压力后，立即向容器内注水，使试样在水下进行试验。非饱和试样，用湿棉纱围住加压盖板四周，以避免试验过程中水分的蒸发。

6 加压等级一般为 12.5、25、50、100、200、400、800、1600、3200kPa。最后一级的压力应大于上覆土层计算压力的 400~200kPa。

7 需要测定先期固结压力时，加压率宜小于 1.0，可采用 0.5 或 0.25 的加压

率。最后一级压力应使  $e-\lg p$  曲线的下段出现较长的直线段。

8 当需测定沉降速率、固结系数时, 加压后应按下列时间顺序测记量表读数: 6s、15s、1min、2min15s、4min、6min15s、9min、12min15s、16min、20min15s、25min、30min15s、36min、42min15s、49min、64min、100min、200min、400min 及 23、24h 直至稳定为止。

9 当不需要测定沉降速率时, 稳定标准为每级压力下固结 24h。只测定压缩系数时, 每级压力下的稳定标准为每小时试样的变形量不大于 0.005mm。

10 当需作回弹试验时, 可在某级压力下固结稳定后逐级卸荷, 直到卸至第一级压力为止。每次卸荷后的回弹稳定标准与加压时相同, 并测记每级压力及最后一级压力时的回弹稳定读数。

11 试验结束后, 迅速拆除仪器各部件, 取出带环刀的试样, 擦干试样两端和环刀壁上的水分, 并测定整块试样试验后的含水率。

**15.2.3 试验结果应按下列公式计算及制图:**

1 初始孔隙比:

$$e_0 = \frac{\rho_s (1 + 0.01w_0)}{\rho_0} - 1 \quad (15.2.3-1)$$

式中  $e_0$ ——初始孔隙比, 计算至 0.01。

$\rho_s$ ——颗粒密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$w_0$ ——试样初始含水率 ( $\%$ );

$\rho_0$ ——试样初始密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

2 各级压力下固结稳定后的单位沉降量:

$$S_i = \frac{\sum \Delta h_i}{h_0} \times 1000 \quad (15.2.3-2)$$

式中  $S_i$ ——单位沉降量 ( $\text{mm}/\text{m}$ );

$\sum \Delta h_i$ ——在某级压力下, 试样固结稳定后的总变形量 ( $\text{mm}$ ) (等于该压力下固结稳定后的读数减去仪器变形量);

$h_0$ ——试样的初始高度 ( $\text{mm}$ )。

3 第  $i$  级压力下固结稳定后的孔隙比:

$$e_i = \frac{h_i (1 + e_0)}{h_0} - 1 \quad (15.2.3-3)$$

式中  $e_i$ ——第  $i$  级压力下固结稳定后的孔隙比, 计算至 0.01;

$h_i$ ——第  $i$  级压力下固结稳定后的高度 (mm)。

4 某一压力范围内的压缩系数:

$$\alpha_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (15.2.3-4)$$

式中  $\alpha_v$ ——某一压力范围内的压缩系数 ( $\text{MPa}^{-1}$ ), 计算至  $0.01\text{MPa}^{-1}$ ;

$e_{i+1}$ ——第  $i+1$  级压力下固结稳定后的孔隙比;

$p_i$ ——第  $i$  级压力 (kPa);

$p_{i+1}$ ——第  $i+1$  级压力 (kPa)。

5 某一压力范围内的压缩模量和体积压缩系数:

$$E_s = \frac{1 + e_i}{\alpha_v} \quad (15.2.3-5)$$

$$m_v = \frac{1}{E_s} = \frac{\alpha_v}{1 + e_i} \quad (15.2.3-6)$$

式中  $E_s$ ——压缩模量 (MPa), 计算至  $0.1\text{MPa}$ ;

$m_v$ ——体积压缩系数 ( $\text{MPa}^{-1}$ ), 计算至  $0.01\text{MPa}^{-1}$ 。

6 压缩指数和回弹指数:

$$C_c \text{ (} C_s \text{)} = \frac{e_i - e_{i+1}}{\lg p_{i+1} - \lg p_i} \quad (15.2.3-7)$$

式中  $C_c$ ——压缩指数, 即  $e - \lg p$  曲线直线段的斜率, 计算至 0.001;

$C_s$ ——回弹指数, 即回弹曲线上某一压力范围内的平均斜率, 计算至 0.001。

7 以单位沉降量  $S_i$  或孔隙比  $e$  为纵坐标, 压力  $p$  为横坐标, 绘制单位沉降量或孔隙比与压力的关系曲线, 见图 15.2.3-1。

8 以孔隙比  $e$  为纵坐标,  $\lg p$  为横坐标, 绘制  $e - \lg p$  关系曲线, 见图 15.2.3-2。

9 原状土的先期固结压力  $p_c$  的确定方法见图 15.2.3-2 所示, 在  $e - \lg p$  曲线上找出最小曲率半径  $R_{\min}$  点  $O$ , 过  $O$  点作水平线  $OA$ , 切线  $OB$  及  $\angle AOB$  的角平分线  $OD$ ,  $OD$  与曲线直线段  $C$  的延长线交于  $E$  点, 对应于  $E$  点的压力即为该原状土的先期固结压力  $p_c$ 。

10 固结系数  $C_v$  应按下列方法确定:

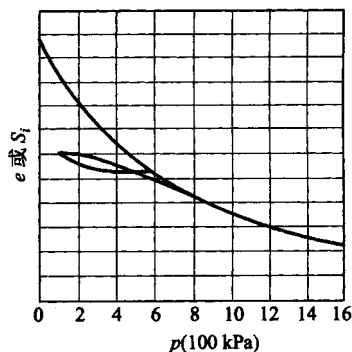


图 15.2.3—1  $e (S_i) - p$  关系曲线

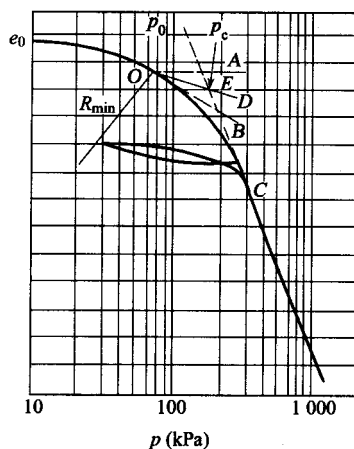


图 15.2.3—2  $e - \lg p$  曲线求  $p_c$  示意图

1) 时间平方根法：对某一级压力，以试样的变形  $d$  (mm) 为纵坐标，时间平方根  $\sqrt{t}$  (min) 为横坐标，绘制  $d - \sqrt{t}$  曲线，见图 15.2.3—3。延长  $d - \sqrt{t}$  曲线开始段的直线，交纵坐标轴于  $d_s$  ( $d_s$  为理论零点)。过  $d_s$  作另一直线，使其横坐标为前一直线横坐标的 1.15 倍，则后一直线与  $d - \sqrt{t}$  曲线交点所对应的时间的平方即为试样固结度达 90% 所需的时间  $t_{90}$ 。该压力下的固结系数按下式计算：

$$C_v = \frac{0.848 (\bar{h})^2}{t_{90}} \quad (15.2.3-8)$$

式中  $C_v$ ——固结系数 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )，计算至  $0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ ；

$\bar{h}$ ——最大排水距离，等于某一压力下试样初始和终了高度的平均值之半

(cm);

$t_{90}$ ——固结度达 90%所需的时间 (s)。

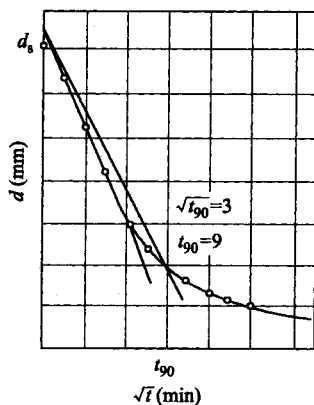


图 15.2.3—3 时间平方根法求  $t_{90}$

2) 时间对数法: 对某一级压力, 以试样的变形  $d$  (mm) 为纵坐标, 时间对数 (min) 为横坐标, 绘制  $d-\lg t$  曲线, 见图 15.2.3—4。在  $d-\lg t$  曲线的开始线段, 选任一时间  $t_1$ , 相对应的变形量为  $d_1$ , 再取时间  $t_2 = t_1/4$ , 相对应的变形量为  $d_2$ , 则  $2d_2 - d_1$  为  $d_{01}$ 。依次再取另一时间按此法求得  $d_{02}$ 、 $d_{03}$ 、 $d_{04}$  等, 取其平均值即为理论零点  $d_0$ 。延长  $d-\lg t$  曲线中部的直线段和过曲线尾部数点作一切线的交点即为理论终点  $d_{100}$ , 则  $d_{50} = \frac{d_0 + d_{100}}{2}$ 。对应于  $d_{50}$  的时间即为试样固结度达 50%所需的时间  $t_{50}$ , 该压力下的固结系数按下式计算:

$$C_v = \frac{0.197 (\bar{h})^2}{t_{50}} \quad (15.2.3-9)$$

式中  $t_{50}$ ——固结度达 50%所需的时间 (s)。

15.2.4 记录格式应符合表 15.2.4—1~3 的要求。

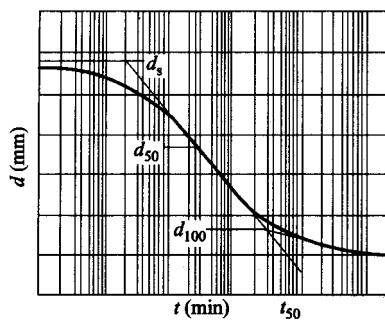


图 15.2.3—4 时间对数法求  $t_{50}$

表 15.2.4—1 标准固结试验记录 (mm)

试样编号 \_\_\_\_\_

仪器号 \_\_\_\_\_

试样面积 $\text{cm}^2$		颗粒密度 $\text{g/cm}^3$		初始孔隙比			
试验前试样高度 $\text{cm}$		试验前饱和度 $\%$		试验后饱和度 $\%$			
试样密度	环刀号	环刀加湿 试样的质量	环刀 质量	湿试样 质量	环刀 体积	密度	平均 密度
		(g)	(g)	(g)	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{g/cm}^3$ )	( $\text{g/cm}^3$ )
试验前							
试验后							
试样含水率	盒 号	湿试样质量	干试样质量		含水率		平均值
		(g)	(g)		(%)		(%)
试验前							
试验后							

复核 \_\_\_\_\_ 年 月 日 试验 \_\_\_\_\_ 年 月 日

表 15.2.4—2 标准固结试验记录 (二)

<div>压力 (kPa)</div> <div>经过时间</div>	P=		P=		P=		P=	
	日期	百分表读数	日期	百分表读数	日期	百分表读数	日期	百分表读数
		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)
0								
6s								
15s								
1min								
2. 25min								
4min								
6. 25min								
9min								
12. 25min								
16min								
20. 25min								
25min								
30. 25min								
36min								
42. 25min								
49min								
64min								
100min								
200min								
400min								
23h								
24h								
总变形量(mm)								
仪器变形量(mm)								
试样总变形量(mm)								

表 15.2.4—3 标准固结试验记录 (三)

试样编号

试验前试样高度 $h_0$								
$C_v = \frac{0.848(\bar{h})^2}{t_{90}}$ 或 $C_v = \frac{0.197(\bar{h})^2}{t_{50}}$								
加 压 历 时	压 力 $p_i$	试样总 变形量 $\sum \Delta h_i$	压缩后的 试样高度 $h_i = h_0 - \sum \Delta h_i$	孔隙比 $e_i = \frac{h_i(1+e_i)}{h_0} - 1$	压缩系数 $a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i}$	压缩模量 $E_s = \frac{1+e_i}{a_v}$	排水距离 $\bar{h} = \frac{h_i + h_{i+1}}{4}$	固结系数 $C_v$
(KPa)	(mm)	(mm)	(1)	(MPa <sup>-1</sup> )	(MPa)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /s)	

复核\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

试验\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

15.3 12h 快速固结试验

15.3.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条的要求。

15.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 试样的制备、安装和预压应按本规程第 15.2.1 条第 1~4 款步骤进行。
- 2 在施加第一级压力后，立即向容器内注水，使试样在水中进行试验。也可用湿棉纱围住加压盖板四周，以避免试验过程中水份的蒸发。
- 3 需要施加的各级压力应与标准固结试验相同，宜为 12.5、25、50、100、200、400、800、1600、3200kPa。第一级的压力大小应视土的软硬程度而定，宜用 12.5 或 25kPa，施加的压力应使测得的  $e-\lg p$  曲线下段出现直线段，最后一级压力应大于土的自重压力与附加压力之和。
- 4 每级压力下测记 12h 变形量后立即施加下一级压力，逐级加压至所需压力。最后一级压力下除测记 12h 的试样变形量外，还须测记加压到 24h 的试样变形量。
- 5 试验结束后，吸去容器中的水，卸去荷重，取出试样。

15.3.3 试样在各级压力下固结 12h 和最后一级压力下固结 24h 时的孔隙比应按下



列公式计算：

1 试样初始孔隙比的计算应按本规程第 15.2.3 条第 1 款进行。

2 各级压力下试样固结 12h 时的孔隙比：

$$e_{i12} = \frac{h_{i12}(1+e_0)}{h_0} - 1 \quad (15.3.3-1)$$

式中  $e_{i12}$ ——第  $i$  级压力下试样固结 12h 的孔隙比；

$h_{i12}$ ——第  $i$  级压力下试样固结 12h 后的高度 (mm)。

3 最后一级压力下试样固结 24h 时的孔隙比：

$$e_L = \frac{h_L(1+e_0)}{h_0} - 1 \quad (15.3.3-2)$$

式中  $e_L$ ——最后一级压力下试样固结 24h 的孔隙比；

$h_L$ ——最后一级压力下试样固结 24h 后的高度 (mm)。

15.3.4 试样孔隙比计算结果应采用下式进行校正：

$$\Delta e_{i12} = \frac{\Delta e_L}{C_{cl} \times C_{ci12}} \quad (15.3.4-1)$$

$$e_i = e_{i12} - \Delta e_{i12} \quad (15.3.4-2)$$

式中  $e_i$ ——第  $i$  级压力下修正后的孔隙比；

$\Delta e_{i12}$ ——第  $i$  级压力下的次固结孔隙比增量；

$\Delta e_L$ ——最后一级压力下次固结孔隙比增量（最后一级压力下 12h 与 24h 孔隙比之差）；

$C_{ci12}$ ——第  $i$  级压力下的压缩指数，即为各级 12h 所得  $e-\lg p$  曲线第  $i$  级节点处斜率的绝对值，宜根据  $(e_{i12}, \lg p_i)$  各节点采用三次样条函数插值计算， $C_{ci12}$  为节点处一阶导数绝对值；

$C_{cl}$ ——最后一级压力下的压缩指数。

15.3.5 在计算条件有限时，可采用  $K$  值修正法对各级压力下试样变形量进行修正，其修正方法如下：

$$K = \frac{\Delta h_{124}}{\Delta h_{112}} \quad (15.3.5-1)$$

$$\Delta h_i = K \times \Delta h_{i12} \quad (15.3.5-2)$$

式中  $\Delta h_i$ ——第  $i$  级压力下修正后的试样总变形量 (mm)；

$K$ ——修正系数；

$\Delta h_{124}$ ——最后一级压力下 24h 的试样总变形量（mm）；

$\Delta h_{112}$ ——最后一级压力下 12h 的试样总变形量（mm）。

修正后孔隙比为

$$e_i=e_0-\frac{1+e_0}{h_0}\Delta h_i \tag{15.3.5—3}$$

**15.3.6** 以修正后孔隙比  $e$  为纵坐标，以压力对数  $\lg p$  为横坐标，绘制  $e-\lg p$  曲线。原状土试样先期固结压力的确定方法应符合本规程第 15.2.3 条第 9 款的规定。

**15.3.7** 压缩指数的计算应符合本规程第 15.2.3 条第 6 款的规定。

**15.3.8** 记录格式应符合表 15.3.8 的要求。

表 15.3.8 12h 快速固结试验记录

试样编号：\_\_\_\_\_ 仪器编号：\_\_\_\_\_

试样初始高度		mm	试样面积		cm <sup>2</sup>	试样初始孔隙比	
试样初始密度		g/cm <sup>3</sup>	颗粒密度		g/cm <sup>3</sup>	试样初始含水率	
		%					
压力 (KPa)	12h 试件 和仪器 变形量 (mm)	仪器变 形量 (mm)	试样 12h 变形量 $\Delta h_{i12}$ (mm)	修正后 变形量 $\Delta h_{i12}$ (mm)	12h 固结 后试 样高度 $h_{i12}$ (mm)	试样 12h 孔隙比 $e_{i12}$	修正后 孔隙比 $e_i$
修正方法							

## 15.4 1h 快速压缩试验

15.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条的要求。

15.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样的切取及装入容器，应按本规程第 15.2.2 条第 1～3 款的规定进行。  
加荷等级一般为 50、100、200、300、400 600kPa。

2 加压后测记 1h 时的试样高度变化，立即施加下一级压力，逐级加压至所需压力。加最后一级压力时除测记 1h 时的试样变形外，还需测记试样达到压缩稳定时的量表读数。稳定标准为每小时试样变形不超过 0.005mm。

3 试验结束后应按本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定拆除仪器。

15.4.3 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 各级压力下试样校正后的总变形量：

$$\sum \Delta h_i = (h_i)_t \frac{(h_n)_T}{(h_n)_t} = K(h_i)_t \quad (15.4.3-1)$$

式中  $\sum \Delta h_i$ ——某一压力下校正后的试样总变形量 (mm)，计算至 0.01mm；

$(h_i)_t$ ——某一压力下固结 1h 的变形量减去该压力下的仪器变形量 (mm)；

$(h_n)_t$ ——最后一级压力下固结 1h 的变形量减去该压力下的仪器变形量 (mm)；

$(h_n)_T$ ——最后一级压力下固结稳定后的总变形量减去该压力下的仪器变形量 (mm)；

$K$ ——校正系数。

2 试样的初始孔隙比应按本规程式 (15.2.3—1) 进行计算。

3 各级压力下固结 1h 试样校正后的孔隙比：

$$e_i = e_0 - \frac{1+e_0}{h_0} \sum \Delta h_i \quad (15.4.3-2)$$

式中  $e_i$ ——某一压力下固结 1h 试样校正后的孔隙比，计算至 0.01。

4 某一压力范围内的压缩系数  $\alpha_v$  和压缩模量  $E_s$ ，应按本规程式 (15.2.3—4) 和式 (15.2.3—5) 进行计算。

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

5.4.5 记录格式应符合表 15.4.5 的要求。

表 15.4.5 1h 快速压缩试验记录

试样编号\_\_\_\_\_

仪器号\_\_\_\_\_

式样初始高度		mm	试样初始密度		g/cm <sup>3</sup>	试样初始含水率 %	
颗粒密度		g/cm <sup>3</sup>	$K = (h_n)_T / (h_n)_t =$				
加压 历时 (h)	压力 (kPa)	校正前试样 总变形量 (mm)	校正后试 样总变形量 (mm)	压缩后试 样高度 (mm)	校正后 孔隙比	压缩系数 (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 (MPa)
1							
1							
1							
1							
1							
1							
稳定							

复核\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

16 直接剪切试验

16.1 一般规定

16.1.1 直接剪切试验，应取 4 个试样，在直剪仪中分别施加不同竖向压力，再分别对它们施加水平剪切力进行剪切，求得破坏时的剪应力  $\tau$ 。然后根据库仑定律确定土的抗剪强度参数：内摩擦角  $\phi$  和黏聚力  $c$ 。

16.1.2 直接剪试验可分为快剪、固结快剪、慢剪三种试验方法。

16.1.3 本试验适用于测定黏性土和粉土的抗剪强度参数  $c$  和  $\phi$  及土颗粒粒径小于 2mm 砂类土的抗剪强度参数  $\phi$ 。渗透系数  $k > 10^{-6}$  cm/s 的土不宜做快剪试验。

16.2 快剪试验

16.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 应变控制式直剪仪：包括剪切盒、垂直加压设备、剪切传动装置、测力计、位移量测系统。如图 16.2.1。直剪仪和测力计应按本规程附录 C 进行校正和率定。

2 位移计：可用量程为 10mm，分度值为 0.01mm 的百分表；或准确度为全量程 0.2% 的传感器。

3 环刀：内径 61.8mm，高 20mm。

4 透水板或不透水板：直径比环刀略小约 0.2~0.5mm。

5 天平：称量 500g，分度值 0.1g。

6 其他：切土刀、滤纸、保湿器等。

### 16.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 原状土试样制备应按本规程第 3.3 节的规定进行；扰动土试样制备应按本规程第 3.2 节的规定进行；当试样需要进行饱和时，应按本规程第 3.5 节的规定进行。

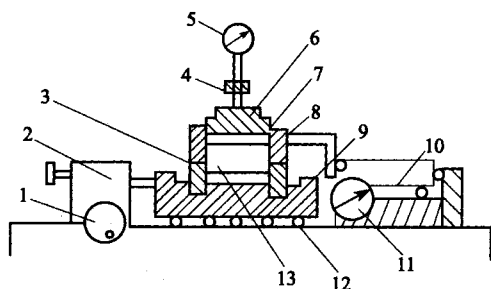


图 16.2.1 应变控制式直剪仪

1—剪切传动装置；2—推动器；3—下盒；4—垂直加压框架；

5—垂直位移计；6—传压板；7—透水板；8—上盒；9—储水盒；

10—测力计；11—水平位移计；12—滚珠；13—试样

2 对准剪切容器的上下盒，插入固定销，在下盒内放入不透水板，将带有试样的环刀刃口向上，对准剪切盒口，在试样上面放不透水板（或透水板加薄膜塑料），然后将试样缓缓推入剪切盒内，再移去环刀。

3 转动传动装置，使上盒的前端钢珠刚好与测力计接触，调整测力计读数为零。顺次加上传压板、钢珠、加压框架。如需观测垂直变形，可安装垂直位移计，并记录初始读数。

4 施加垂直压力的大小应根据工程要求和土的软硬状态决定。一般可按 25、

50、100、200kPa 或 100、200、300、400kPa 施加压力。

5 立即拔去固定销,将测力计调零后,开动秒表,以  $0.8\sim 1.2\text{mm/min}$  的剪切速度对试样进行剪切,控制在  $3\sim 5\text{min}$  内剪损。当测力计的读数不变或出现后退,表示试样已被剪损,一般应剪切至剪切变形达  $4\text{mm}$  为止。如测力计读数随剪切变形继续加大,则剪切变形应达到  $6\text{mm}$  为止。试样每产生  $0.2\sim 0.4\text{mm}$  位移时,应测记测力计和位移读数一次,直到剪损为止,记下破坏值。

6 剪切结束后应立即吸去剪切盒内积水,退去剪切力和垂直压力,移去加压框架,取出试样,测定试样剪切面上的含水率。

7 按上述步骤连续剪完不同垂直压力下的其余三个试样。

### 16.2.3 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 剪应力及剪切位移:

$$\tau = (CR/A_0) \times 10 \quad (16.2.3-1)$$

$$\Delta L = \Delta L' n - R \quad (16.2.3-2)$$

式中  $\tau$ ——剪应力 (kPa), 计算至  $1\text{kPa}$ ;

$C$ ——测力计率定系数 ( $\text{N}/0.01\text{mm}$ );

$R$ ——测力计读数 ( $0.01\text{mm}$ );

$A_0$ ——试样面积 ( $\text{cm}^2$ );

$10$ ——单位换算因数;

$\Delta L$ ——剪切位移 ( $0.01\text{mm}$ );

$n$ ——手轮转数;

$\Delta L'$ ——手轮每转的位移 ( $\text{mm}$ )。

2 以剪应力  $\tau$  为纵坐标,剪切位移  $\Delta L$  为横坐标,绘制  $\tau-\Delta L$  关系曲线,见图 16.2.3—1。选取  $\tau-\Delta L$  关系曲线上剪应力的峰值或稳定值作为抗剪强度  $s$ ,见图 16.2.3—1 中曲线上的箭头所示。如无明显峰值时,取剪切位移  $4\text{mm}$  所对应的剪应力作为抗剪强度。

3 以抗剪强度  $S$  为纵坐标,垂直压力  $p$  为横坐标,绘制  $S-p$  关系曲线,见图 16.2.3—2。根据图上各实测点,绘制一条视测直线,各实测点与直线上对应点的抗剪强度之差,不得超过直线上对应点抗剪强度的  $\pm 5\%$ 。直线在纵坐标上的截距为土的黏聚力  $c$ ,直线的倾角为土的内摩擦角  $\phi$ 。

### 16.2.4 记录格式应符合表 16.2.4 的要求。

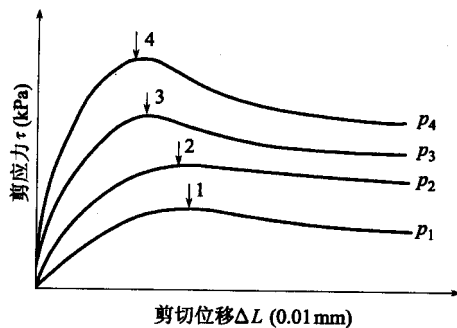


图 16.2.3—1 剪应力与剪切位移关系曲线

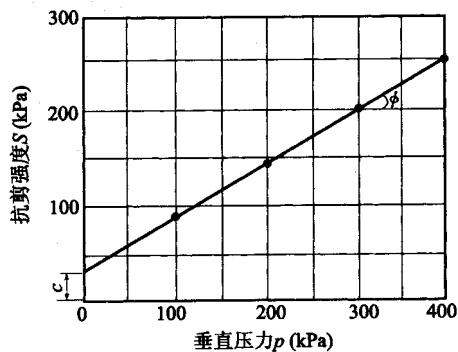


图 16.2.3—2 抗剪强度与垂直压力关系曲线

表 16.2.4 直接剪切试验记录

试样编号		土颗粒密度 $\rho_s =$			试验方法			
环刀号	试样状态	含水率 $w(\%)$	湿密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	干密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	孔隙比 $e$	饱和度 $S_r$		
	初始							
	饱和							
	剪后							
仪器编号		垂直压力		kPa	率定系数 $C =$		N/0.011mm	
剪切速率		mm/min	剪切历时		min	试样面积 $A_0 = \text{cm}^2$		
剪切前固结时间		min	剪切前压缩量		mm	抗剪强度		kPa

时间	垂直量表读数 (0.01mm)	手轮转数 (n)	测力计读数 (0.01mm)	剪切位移 (0.01mm)	剪应力 (kPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)= $\Delta L' \times (3) - (4)$	(6)= $\frac{(4) \times C}{A_0} \times 10$

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日
 试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

### 16.3 固结快剪试验

16.3.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 16.2.1 条的要求。

16.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 原状土和扰动土试样制备可按本规程第 16.2.2 条第 1 款规定进行。
- 2 试样的安装可按本规程第 16.2.2 条第 2～3 款进行。但试样上下两面的不透水板应改为透水板，并贴放湿滤纸。
- 3 施加垂直压力后，每隔 1h 测定垂直位移一次，待试样每小时变形量：黏性土不大于 0.005mm，粉土和砂类土不大于 0.01mm 时，则固结已趋稳定。
- 4 其余试验步骤应按本规程第 16.2.2 条第 4～7 款进行。

16.3.3 试验结果计算及制图应按本规程第 16.2.3 条进行。

16.3.4 记录格式应符合本规程表 16.2.4 的要求。

### 16.4 慢剪试验

16.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 16.2.1 条的要求。

16.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 原状土和扰动土试样制备可按本规程第 16.2.2 条第 1 款规定进行。
- 2 试样的安装、施加垂直压力和固结等步骤可按本规程第 16.3.2 条第 2～4 款进行。
- 3 试样固结稳定后，拔去固定销，起动传动装置，以 0.02mm/min 剪速进行剪切。也可按下式估算剪切破坏时间：



$$t_f = 50t_{50}$$

(16.4.2)

式中  $t_f$ ——达到破坏所经历的时间 (min);

$t_{50}$ ——固结度达 50% 所需的时间 (min)。

剪损标准可按本规程第 16.2.2 条第 5 款规定选取。

4 其余试验步骤可按本规程第 16.2.2 条第 6~7 款进行。

6.4.3 试验结果计算和制图应按本规程第 16.2.3 条进行。

6.4.4 记录格式应符合本规程表 16.2.4 的要求。

## 17 排水反复直接剪切试验

17.0.1 在给定的有效应力作用下,对黏性土进行排水剪切试验,当剪应力达到峰值强度后,随着剪切位移的增大,强度逐渐减小,最后趋于某一稳定值,此值称为残余强度。

17.0.2 排水反复直接剪切试验应制备 4 个试样在不同的垂直压力下反复剪切,分别求得剪应力的最后稳定值,以确定残余强度参数  $c_r$  和  $\phi_r$ 。

17.0.3 本试验适用于黏性土和泥化夹层。

17.0.4 本试验应采用下列仪器设备:

1 应变控制式反复直剪仪:包括变速设备、可逆电动机和反推夹具,如图 17.0.4 所示。直剪仪和测力计应按本规程附录 C 进行校正和率定。

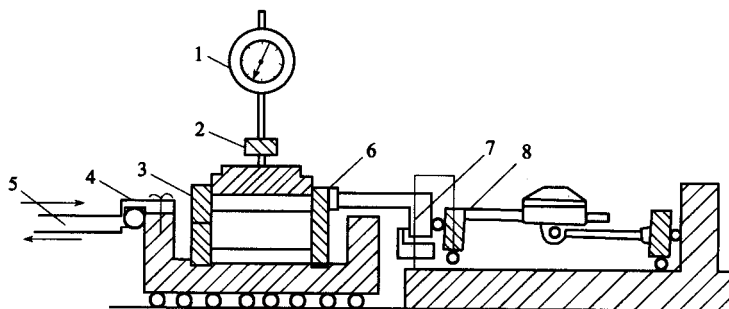


图 17.0.4 反复直剪仪示意

1—垂直变形位移计; 2—加压框架; 3—试样; 4—连接件;

5—推动轴; 6—剪切盒; 7—限制连接件; 8—测力计

2 垂直变形位移计 (百分表): 量程 10mm, 分度值 0.01mm。

- 3 天平：称量 500g，分度值 0.1g。
- 4 环刀：内径 61.8mm，高 20mm。
- 5 其他：饱和器、切土刀、钢丝锯、滤纸、秒表等。

#### 17.0.5 试样制备应按下列规定进行：

1 有软弱面的原状土样，应先分清软弱面的天然滑动方向，整平土样的两端，使顶面与软弱面平行。在环刀内涂一薄层凡士林。切土时，应使此软弱面处于环刀的高度一半处，然后在试样面上划出此软弱面的天然滑动方向。

2 对超固结黏土或完整的原状黏土，应按本规程第 3.3 节的规定制成试样后，放入剪切盒内。先在小于 50kPa 的垂直压力下以较快的剪切速率进行预剪，使形成一个破裂面（如试样坚硬，也可用刀、锯等工具先切割成一个剪切面），然后在垂直加荷下固结稳定后进行剪切。

3 对于泥化夹层或滑坡层面，当无法取得原状土样时，可刮取夹层或层面上的土样，制备成圆锥下沉深度为 10mm 的液限状态土膏，再将土膏填入环刀内。填装时，先沿环刀的四周填入，再填中部，应排除试样内的空气，同一组试样填入密度允许差值为  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

4 原状土样应尽量取靠近破裂面上的土测其含水率，扰动土样应取切下的余土测其含水率。

- 5 一般采用抽气饱和法使试样达到饱和。

#### 17.0.6 试验操作应按下列步骤进行：

1 对直剪仪进行详细检查。对准上、下剪切盒，插入固定销。顺序放上透水板、滤纸，并将试样推入剪切盒内。上面再放上滤纸、透水板、加压盖板、钢珠及加压框架等。安装垂直变形位移计。在剪切盒周围包以湿棉花，以防止水分的蒸发。

2 每组试验应制备 4 个试样，在 4 种不同垂直压力下进行剪切。垂直压力宜为 100、200、300、400kPa。各个垂直压力可一次轻轻施加，若土质松软，应分级施加以防试样被挤出。

3 在试样上施加垂直压力后，测记垂直变形读数，当读数小于  $0.005\text{mm}/\text{h}$  时，可认为固结已达稳定。也可在其他仪器上进行预固结，然后再移到剪切盒内，继续固结至稳定后，再进行剪切。

- 4 除含水率相当于液限试样的剪切外，一般原状土和硬黏土在试验时剪切盒

应开缝，缝宽 0.3~1.0mm。

5 启动电动机，使剪切盒前端的钢珠与测力计接触，并调整其初始读数。

6 拔出固定销，调节变速箱。对粉土、粉质黏土的剪速不宜超过 0.06mm/min；对黏土的剪速不宜超过 0.02mm/min。开动电动机正向开关，按以上剪速进行剪切，试样每产生剪切位移 0.2~0.4mm，测记测力计和位移读数，当剪应力超过峰值后，按剪切位移每隔 0.5mm 测记一次。直至最大剪切位移 8~10mm 时停止剪切。每次剪切时，试验不允许中断。

7 第一次剪切完成后，启动电动机反向开关，以剪速不大于 0.6mm/min 将剪切盒反向推至与上剪切盒重合后，插入固定销。

8 等待半小时后，重复本条第 5~7 款的步骤进行第二次剪切，如此反复剪切多次，直至最后两次剪切时测力计读数接近为止。一般对粉土、粉质黏土需剪切 5~6 次。总剪切量达 40~50mm，对黏土需剪切 3~4 次，总剪切位移量达 30~40mm。

9 剪切结束后，测记垂直位移计的读数，吸去剪切盒中积水，尽快卸除位移计、垂直压力、加压框架、加压盖板及剪切盒等。并描述剪切面的破坏情况。取剪切面上下的试样测定剪后含水率。

#### 17.0.7 试验结果应按下表计算及制图：

1 残余强度：

$$\tau_r = (C \cdot R / A_0) \times 10 \quad (17.0.7)$$

式中  $\tau_r$ ——剪应力 (kPa)，计算至 1kPa；

$C$ ——测力计率定系数 (N/0.01mm)；

$R$ ——测力计读数 (0.01mm)；

$A_0$ ——试样面积 (cm<sup>2</sup>)；

10——单位换算因数。

2 绘制剪应力与剪切位移关系曲线，见图 17.0.7—1。取每一个试验曲线上第一次剪切峰值为峰值剪应力  $\tau_f$ ，最后稳定值为残余剪应力  $\tau_r$ 。绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线，见图 17.0.7—2。

#### 17.0.8 记录格式应符合表 17.0.8 的要求。

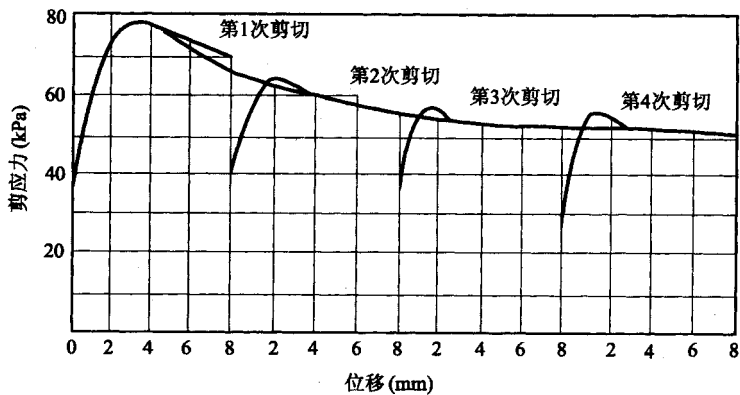


图 17.0.7—1 剪应力与剪切位移曲线

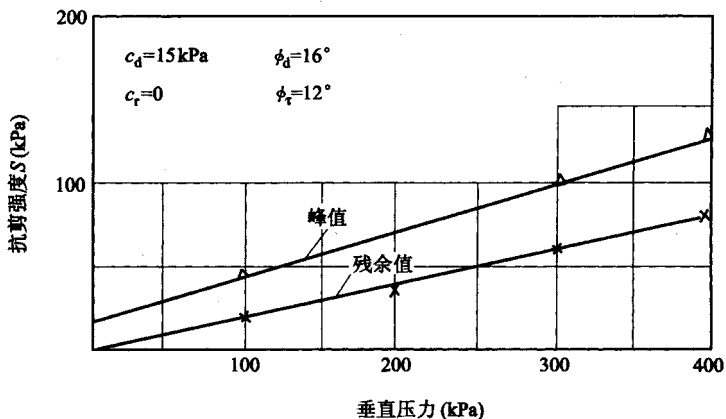


图 17.0.7—2 抗剪强度与垂直压力关系曲线

表 17.0.8 排水反复直接剪切试验

工程名称 _____		试样编号 _____	
仪器编号:		剪前固结时间:	min
测力计率定系数:	N/0.01mm	剪前固结沉降量:	mm
		试样面积:	cm <sup>2</sup>
剪切速率:	mm/min	剪切次数:	
垂直压力:	kPa	抗剪强度:	kPa
剪切位移	垂直位移计读数	测力计读数	剪应力

(0.01mm)	(0.01mm)	(0.01mm)	(kPa)
30			
60			
100			
130			
160			
200			
230			
260			
300			
350			
400			
⋮			
800			

注：“+”为剪胀，“-”为剪缩。

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_\_\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

18 三轴压缩试验

18.1 一般规定

18.1.1 三轴压缩试验宜采用 3~4 个圆柱形试样，分别在不同的恒定周围压力下，逐渐增加轴向压力，使试样内部产生剪应力直至试样破坏的一种抗剪强度试验。

18.1.2 本试验方法适用于测定黏性土、粉土和砂类土的总抗剪强度参数和有效抗剪强度参数。

18.1.3 本试验根据排水条件，可分为下列三种方法：

- 1 不固结不排水剪（UU）试验是在施加周围压力和增加轴向压力直至破坏过程中不允许试样排水。可求得总抗剪强度参数（ $c_u$ 、 $\phi_u$ ）。
- 2 固结不排水剪（CU 或  $\overline{CU}$ ）试验是试样先在某一周围压力作用下排水固结。然后在保持不排水的情况下，增加轴向压力直至破坏为止。本试验可测得总抗剪强度参数  $c_{cu}$ 、 $\phi_{cu}$  或者有效抗剪强度参数  $c'$ 、 $\phi''$  和孔隙压力系数。
- 3 固结排水剪（CD）试验是试样先在某一周围压力作用下排水固结，然后在

允许试样继续排水的条件下增加轴向压力直至破坏为止。本试验可测得有效抗剪强度参数  $c_d$ 、 $\phi_d$ 。

18.1.4 在无法取得 3~4 个试样进行三轴压缩试验时，可采用一个试样多级加荷试验。

## 18.2 仪器设备

18.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 应变控制式三轴仪如图 18.2.1—1 所示，主要包括压力室、轴向加压设备、周围压力控制系统、反压力控制系统、孔隙压力测量系统、轴向变形和体积变化量测系统。

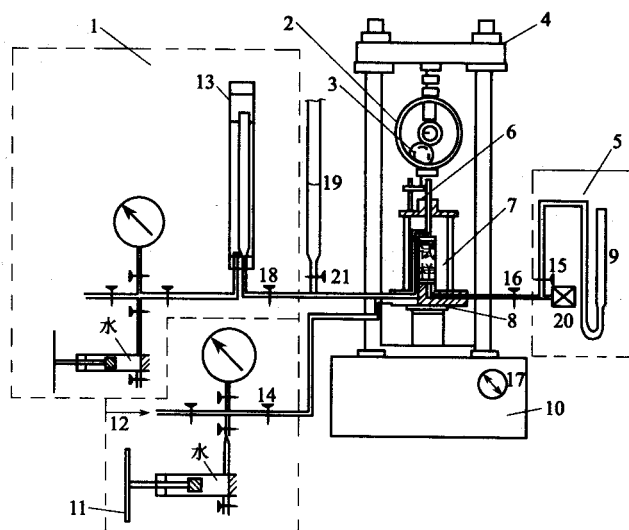


图 18.2.1—1 三轴仪组成示意

- 1—反压力控制系统；2—轴向测力计；3—轴向位移计；4—试验机横梁；  
5—孔隙压力测量系统；6—活塞；7—压力室；8—升降台；9—量水管；  
10—试验机；11—周围压力控制系统；12—压力源；13—体变管；  
14—周围压力阀；15—量管阀；16—孔隙压力阀；17—手轮；  
18—体变管阀；19—排水管；20—孔隙压力传感器；21—排水管阀

## 2 附属设备

- 1) 击实筒：见图 18.2.1—2。
- 2) 饱和器：见图 18.2.1—3。

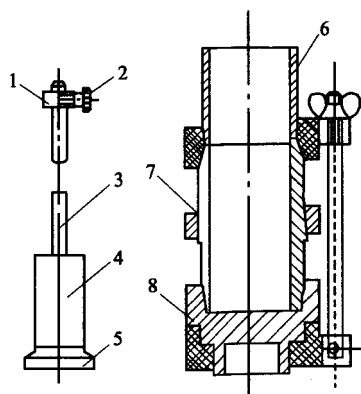


图 18.2.1—2 击实筒

1—套环；2—定位螺丝；3—导杆；  
4—击锤；5—底板；6—套筒；  
7—饱和器；8—底板；

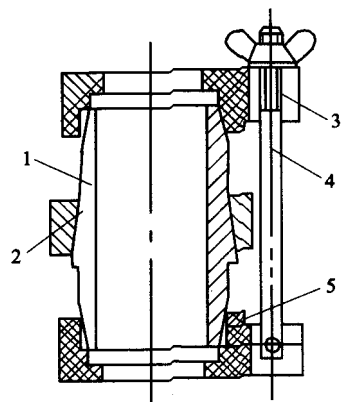


图 18.2.1—3 饱和器

1—土样筒；2—紧箍；3—夹板；  
4—拉杆；5—透水板

3) 切土盘：见图 18.2.1—4。

4) 切土器和切土架：见图 18.2.1—5。

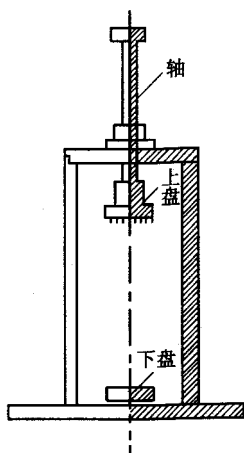


图 18.2.1—4 切土盘

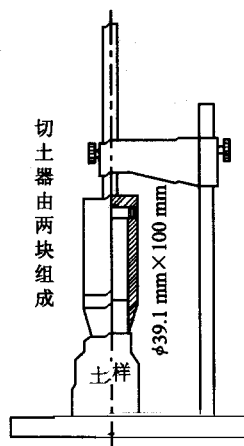


图 18.2.1—5 切土器和切土架

5) 原状土分样器：见图 18.2.1—6。

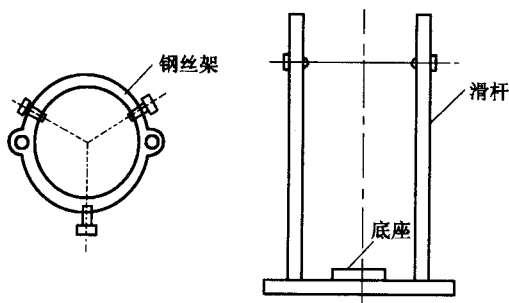


图 18.2.1—6 原状土分样器

6) 承膜筒安装示意图：见图 18.2.1—7。

7) 制备砂样圆模：见图 18.2.1—8。

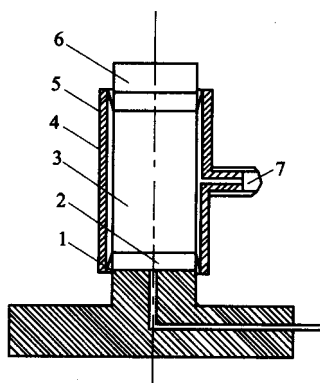


图 18.2.1—7 承膜筒安装示意

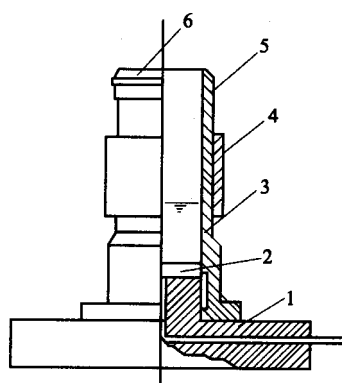


图 18.2.1—8 制备砂样圆模

1—压力室底座；2—透水板；

3—试样；4—承膜筒；5—橡皮膜；

6—上帽；7—吸气孔

1—压力室底座；2—透水板；

3—制样圆模（两片合成）；4—紧箍；

5—橡皮膜；6—橡皮圈

3 天平：称量 200g、分度值 0.01g；称量 1000g，分度值 0.1g；称量 5kg，分度值 1g。

4 量表：量程 30mm，分度值 0.01mm。

5 橡皮膜：对直径 39.1mm 和直径 61.8mm 的试样，橡皮膜厚度以 0.1～0.2mm 为宜，对直径 101mm 的试样，橡皮膜厚度以 0.2～0.3mm 为宜。

18.2.2 试验时的仪器应符合下列要求：



- 1 对于周围压力控制系统和反压力控制系统的仪表其误差应小于全量程的 $\pm 1\%$ 。如用传感器，其误差应小于全量程的 $\pm 0.5\%$ 。根据试样强度的大小，选择不同量程的测力计，应使最大轴向压力的准确度不低于 $1\%$ 。
- 2 孔隙压力量测系统的气泡应完全排除。其方法是一边向系统内充脱气水一边施加压力，并打开孔隙压力阀让管路中的气泡从压力室底座排除。应反复几次，使气泡完全冲出为止（如用零位指示器时，可将水银移入贮槽内，关闭量管阀，用调压筒对孔隙压力量测系统加压排除气泡，注意勿使贮槽内水银冲出指示器。排气完毕后，从贮槽中移回水银，关闭孔隙压力阀，用调压筒施加压力）。整个系统的体积变化系数应小于 $1.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kPa}$ 。
- 3 排水管路应畅通，各连接处应无漏水漏气现象，压力室活塞杆在轴套内能自由滑动。
- 4 橡皮膜的检查方法是扎紧两端，向膜内充气，然后沉入水中应无气泡溢出，方可使用。
- 5 各种试验方法进行试样剪切前，应按表 18.2.2 规定对三轴仪阀门的开、关状态进行检查。

表 18.2.2 各阀门的开、关状态及强度参数

试验方法	体变管阀 (18)	排水管阀 (19)	周围压力阀 (14)	孔隙压力阀 (16)	量管阀 (15)	强度 参数
UU 试验	关	关	开	关	关	$c_u, \phi_u$
$\overline{CU}$ 试验 (测孔隙压力)	关	关	开	开	关	$c', \phi'$
CU 试验	关	关	开	关	关	$c_{cu}, \phi_{cu}$
CD 试验	开	开	开	开	关	$c_u, \phi_d$

18.3 试样的制备和饱和

18.3.1 试样尺寸应符合下列规定：

- 1 试样直径为 35.0mm、39.1mm、61.8mm 和 101mm，高度与直径之比为 2.0~2.5 倍。
- 2 试样的允许最大粒径：当试样直径小于 100mm 时为直径的 1/10；当试样直径大于或等于 100mm 时为直径的 1/5。

3 对于有裂隙、软弱面或构造面的试样，试样直径宜采用 61.8mm 或 101mm。

### 18.3.2 原状土试样制备应按下列步骤进行：

1 对于一般土样，先用钢丝锯或切土刀切取一稍大于规定尺寸的土柱，放在切土盘上、下圆盘之间（图 18.2.1—4），用钢丝锯或切土刀紧靠侧板，由上往下细心切削，边切削边转动圆盘，直至土样被削成规定的直径为止。然后按试样高度的要求，削平上下两端。对于直径大于 10cm 的土样，可先用分样器（图 18.2.1—6）切成 3 个土柱，然后再按上述方法切取直径为 39.1mm 的试样。

2 对于较硬的土样，先用切土刀或钢丝锯切取一块稍大于规定尺寸的土柱，并将上、下端削平，然后按试样上下层次，放在切土架（图 18.2.1—5）上进行切削。切削前应先切土器刃口内壁涂上薄层滑润油，将刀口对准土样的顶面，边削边压切土器，直至切削到比要求的试样高度高出约 2cm 为止。拆开切土器，将试样取出，按要求高度将两端削平。在切样过程中，如试样表面遇到砾石而形成孔洞，允许用切削下来的余土填补。

3 将切成的试样称量，用卡尺测量试样的直径和高度，按下式计算试样的平均直径：

$$D_0 = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4} \quad (18.3.2)$$

式中  $D_0$ ——试样的平均直径（mm）；

$D_1$ ——试样的上部直径（mm）；

$D_2$ ——试样的中部直径（mm）；

$D_3$ ——试样的下部直径（mm）。

4 取切下的余土测定含水率。同一组试样间的含水率差值不宜大于 2%，密度差值不宜大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

### 18.3.3 扰动土试样制备宜采用击实法或土膏法，应按下列步骤进行：

1 击实法试样制备应根据要求的干密度和含水率，按本规程第 3.2.2 条第 1～5 款步骤备样后，在击实筒内分层击实，粉土分 3～5 层，黏性土分 5～8 层，每层土样质量应相等，每层接触面应刨毛。击完最后一层，将击实筒内的试样两端整平，取出试样称其质量，同一组试样的密度差值不得超过  $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2 对于含水率接近液限的软黏土应采用土膏法制样。先将土样调成含水率略

大于液限的土膏，在保湿器内静置约 24h。测定土膏含水率，同一组试样含水率差值不应大于 1%。在压力室底座上依次装上透水板、湿滤纸、橡皮膜和对开圆模，称制备好的土膏将其填入橡皮膜内。操作中应避免在试样中夹有气泡。试样装好后整平顶部，称剩余的土膏，计算装入土膏质量。在试样顶部依次放湿滤纸、透水板和顶帽并扎紧橡皮膜。然后打开孔隙压力阀和量管阀，降低量水管，使其水位低于试样中心约 50cm，测读量水管读数，算出排水后试样的含水率。拆去对开模，测定试样上、中、下部位的直径及高度，按本规程式（18.3.2）计算试样的平均直径。

#### 18.3.4 砂类土试样制备应按下列步骤进行：

根据试验要求的试样干密度和试样体积称取所需风干砂样质量。分为三等分，在水中煮沸，冷却后待用。

开启孔隙压力阀及量管阀，使压力室底座充水。将煮沸过的透水板滑入压力室底座上，用橡皮圈将透水板扎紧在底座上。关闭孔隙压力阀及量管阀，将橡皮膜的一端套在压力室底座上并扎紧，将对开模套在底座上，使橡皮膜的上端翻过来，抽气，可使橡皮膜贴紧对开模的内壁，如图 18.2.1—8。注脱气水约达对开膜高度的 1/3 处，立即将经煮沸冷却后的砂样装入膜中，填至要求高度。当第 1 层砂样填完后，继续注水至 2/3 高度处，装第 2 层砂样。直至模内装满所称的砂样为止。放上透水板、试样帽，翻起橡皮膜，扎紧试样帽。

开启量水管阀降低量水管，使量水管内水面低于试样中心位置下约 20cm，以产生负压，使试样能站立起来。除去对开膜，再量测此时试样的直径和高度，复核试样的干密度，各试样的干密度差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

#### 18.3.5 试样饱和宜选用下列方法：

1 抽气饱和：将装有试样的饱和器置于真空缸中进行抽气。当真空度接近 1 个大气压后再继续抽气 1~2h。其他步骤可按本规程第 3.5.3 条进行。然后取出试样并称其质量。

2 水头饱和：对于砂类土和粉土可直接在仪器上用水头饱和。其方法是先将试样按本规程第 18.5.1 条第 1 款的步骤安装于压力室内。施加 18kPa 的周围压力，并同时提高试样底部量管的水面和降低连接试样顶部固结排水管的水平面，使两管水面差在 1m 左右，打开孔隙压力阀、量管阀和排水阀，让水自下而上通过试样，直至同一时间间隔内量管流出的水量与固结排水管内水量相等为止。

3 反压力饱和：要求试样完全饱和时，则应对试样施加反压力。反压力系统和周围压力系统相同（对不固结不排水剪试验可用同一套设备施加），但应用双层体变管代替排水量管。试样装好后，调节孔隙水压力等于大气压力，关闭孔隙压力阀、反压力阀、体变管阀，测记体变管读数，开启周围压力阀，先对试样施加 18kPa 的周围压力，开启孔隙压力阀，待孔隙压力稳定后记录读数，并关闭孔隙压力阀。

反压力应分级施加，并同时分级施加周围压力，宜减少对试样的扰动。在施加反压力过程中，始终保持周围压力比反压力大 18kPa。反压力和周围压力的每级增量：对软黏土取 30kPa；对坚实的土或初始饱和度较低的土取 50~70kPa。具体操作时，先调节周围压力至 50kPa，并将反压力系统调至 30kPa，同时打开周围压力阀和反压力阀，再缓慢地打开孔隙压力阀，待孔隙压力稳定后，测记孔隙压力计和体变管读数，再施加下一级的周围压力和反压力。

计算每级周围压力下的孔隙压力增量  $\Delta u$ ，并与周围压力增量  $\Delta \sigma_3$  比较，当  $\Delta u / \Delta \sigma_3 \leq 0.98$  时，则表示试样尚未饱和，这时应关闭孔隙压力阀、反压力阀和周围压力阀，继续按上述规定施加下一级周围压力和反压力。当试样在某级压力下  $\Delta u / \Delta \sigma_3 > 0.98$  时，表明试样已达到饱和。

## 18.4 不固结不排水剪试验

### 18.4.1 试验操作应按下列步骤进行：

#### 1 试样安装：

1) 对压力室底座充水，在底座上放置不透水板，依次放上试样、不透水板、试样帽。将橡皮模套在承膜筒内，两端翻出筒外，如图 18.2.1—7 所示。从吸气孔吸气，使膜贴紧承膜筒的内壁，然后套在试样的外面，放气，翻起橡皮膜的两端，取出承模筒。用橡皮圈将橡皮膜两端与压力室底座及试样帽分别扎紧。

2) 提升压力室罩顶部活塞，装上压力室罩，将活塞对准试样帽的中心，旋紧底座连接螺丝，再将轴向测力计对准活塞。

3) 开启排气孔，向压力室充水，当快注满水时，降低进水速度，当水从排气孔溢出时，关闭排气孔。

4) 关闭体变管阀和孔隙压力阀，开启周围压力阀，施加周围压力  $\sigma_3$ 。周围压力大小应与工程的实际荷载相适应，尽可能使最大周围压力与土体的最大实际荷载大致相等。也可按 100、200、300、400kPa 施加周围压力。

5) 旋转手轮, 同时转动活塞, 当轴向测力计有微读数时表示活塞已与试样帽接触。将轴向测力计和轴向位移计的读数调整到零位。

## 2 试样剪切:

1) 电动机启动前, 应按表 18.2.2 规定将各阀门开启或关闭。

2) 剪切应变速率宜为每分钟应变  $0.5\% \sim 1.0\%$ , 按此调整变速箱排档。

3) 启动电动机, 合上离合器, 进行剪切。在开始阶段, 试样每产生  $0.3\% \sim 0.4\%$  的轴向应变, 测记测力计读数和轴向位移计读数各一次。当轴向应变大于  $3\%$  时, 试样每产生  $0.7\% \sim 0.8\%$  的轴向应变, 测记一次。当遇到试样特别脆硬或软弱时, 应加密或减少测记次数。

4) 当读数出现峰值时, 应继续剪切至轴向应变超过  $3\%$ 。当测力计读数不出现峰值时, 应继续剪切到轴向应变达  $15\% \sim 20\%$ 。

5) 试样剪切结束后, 关闭电动机、脱开离合器, 关闭压力阀, 使压力表退回到零, 对准粗调离合器, 反转粗调手轮, 降下压力室, 开排气孔, 排除压力室内的水。

6) 拆卸压力室外罩, 取下试样外面的橡皮膜, 称取试样的质量和测定含水率。

## 18.4.2 试验结果应按下列公式计算及制图:

### 1 轴向应变:

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h_i}{h_0} \times 100 \quad (18.4.2-1)$$

式中  $\epsilon_1$ ——轴向应变 ( $\%$ ), 计算至  $0.1\%$ ;

$\Delta h_i$ ——剪切过程中试样高度变化 (mm);

$h_0$ ——试样原始高度 (mm)。

### 2 试样剪切时的面积:

$$A_a = \frac{A_0}{1 - 0.01\epsilon_1} \quad (18.4.2-2)$$

式中  $A_a$ ——试样剪切时的面积 ( $\text{cm}^2$ ), 计算至  $0.01\text{cm}^2$ ;

$A_0$ ——试样初始面积 ( $\text{cm}^2$ )。

### 3 主应力差:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{CR}{A_a} \times 10 \quad (18.4.2-3)$$

式中  $\sigma_1 - \sigma_3$ ——主应力差 (kPa);

- $\sigma_1$ ——大主应力 (kPa);  
 $\sigma_3$ ——小主应力 (kPa);  
 $C$ ——测力计率定系数 (N/0.01mm);  
 $R$ ——测力计读数 (0.01mm);  
10——单位换算因数。

4 以主应力差为纵坐标, 轴向应变为横坐标, 绘制主应力差与轴向应变关系曲线 (见图 18.4.2—1)。取曲线上主应力差峰值作为破坏点, 无峰值时, 取 15% 轴向应变时的主应力差值作为破坏点。

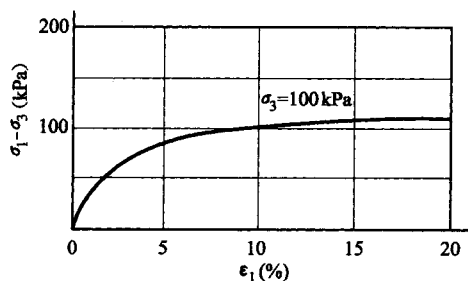


图 18.4.2—1 主应力差与轴向应变关系曲线

5 以剪应力为纵坐标, 垂直应力为横坐标, 在横坐标轴上以破坏时的  $\frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2}$  为圆心, 以  $\frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2}$  为半径, 在  $\tau$ — $\sigma$  应力平面上绘制破损应力圆, 绘制不同周围压力下破损应力圆包线。该包线的倾角为内摩擦角  $\phi_u$ , 包线在纵轴上的截距为黏聚力  $c_u$  (见图 18.4.2—2)。

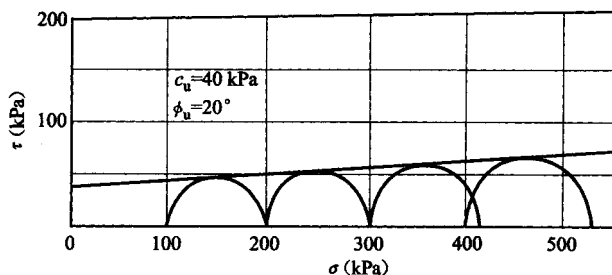


图 18.4.2—2 不固结不排水剪强度包线

18.4.3 试验记录格式应符合表 18.4.3 的要求。

表 18.4.3 不固结不排水剪三轴试验记录

工程名称：\_\_\_\_ 试样编号：\_\_\_\_

试样直径：____(mm)		试样高度 $h_0$ ：____(mm)		试样面积 $A_0$ ：____( $\text{cm}^2$ )	
试样体积：____( $\text{cm}^3$ )		试样质量：____(g)		试样密度：____( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	
试样含水率 $w$ ：____(%)		周围压力：____(kPa)		剪切速率：____( $\text{mm}/\text{min}$ )	
测力计率定系数 $C$ ：____( $\text{N}/0.01\text{mm}$ )					
轴向位移 计读数 (mm)	测力计 读数 (0.01mm)	轴向应变 (%)	剪切时的 试样面积 ( $\text{cm}^2$ )	主应力差 (kPa)	
(1)	(2)	$(3)=\frac{(1)}{h_0}\times 100\%$	$(4)=\frac{A_0}{1-0.01(3)}$	$(5)=10\times C\times \frac{(2)}{(4)}$	

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

18.5 固结不排水剪试验

18.5.1 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样安装：

1) 开启孔隙压力阀和量管阀，对孔隙水压力系统及压力室底座充水排气，关闭孔隙压力阀和量管阀。在压力室底座上依次放透水板、湿滤纸、试样、湿滤纸、透水板，并在试样的周围贴浸过水的滤纸条 7~9 条。将橡皮膜用承膜筒套在试样的外面，用橡皮圈将橡皮膜下端与底座扎紧。

2) 打开孔隙压力阀和量管阀，使水徐徐地从试样底部流入，以排除试样与橡皮膜之间的气泡，关闭孔隙压力阀和量管阀。开启排水阀，使试样帽中充水，用橡皮圈将橡皮膜上端与试样帽扎紧，降低排水管，使管内水面位于试样中心以下约 18~40cm，吸尽试样与橡皮膜之间的多余水分，关闭排水阀。

3) 如需要测定应力应变关系时，应在试样与透水板之间放置中间夹有硅脂的两层圆形橡皮膜，在膜的中间应留有直径为 10mm 的圆孔排水。

4) 压力室罩安装、充水及测力计调整应按本规程第 18.4.1 条第 1 款第 2) ~ 5) 项的规定进行。

2 试样固结：

1) 调整量管水面位于试样中心高度处。开启量管阀 (若用零位指示器时用调压筒调整零位指示器的水银面于毛细管指示线), 测读传感器, 记下孔隙压力计起始读数, 然后关量管阀。

2) 按本规程第 18.4.1 条第 1 款第 4) 项规定施加周围压力。开启孔隙压力阀, 测记稳定后的孔隙压力读数, 减去起始读数即为初始孔隙压力  $u$ 。如不测孔隙压力, 可不做本款试验。

3) 开启排水管阀, 同时记时间读数, 按 0、0.25、1、4、9min……测记排水管水面及孔隙压力计读数。这时必须使零位指示器水银面保持在原来位置, 排水管的水面位置也应在试样的中心处。固结度应达到 95% 以上, 随时绘制排水量  $\Delta V$  与时间平方根或者时间对数曲线, 如图 18.5.1 (a)、(b)。

4) 开启体变管阀, 使试样排水固结。完成固结后, 关闭排水管阀或体变管阀, 记下读数。转动细调手轮, 待测力计读数开始微动, 表示活塞已与试样接触, 记录轴向位移计读数, 此时固结下沉为  $\Delta h$ 。计算此时的试样高  $h_c$ 。

5) 使测力计、垂直位移计读数调到零。其余试样按以上方法在不同  $\sigma_3$  压力下排水固结。

### 3 试样剪切:

1) CU 试验的试样剪切应按本规程第 18.4.1 条第 2 款的规定进行。

2)  $\overline{\text{CU}}$  试验的剪切应变速率: 黏土和粉质黏土宜用每分钟应变 0.05% ~ 0.1%; 粉土为每分钟应变 0.1% ~ 0.5%。

3) 试样剪切应按表 18.2.2 规定检查各阀门开启和关闭状态。

4) 启动电动机, 合上离合器, 开始剪切。测力计、轴向位移计的读数, 应按本规程 18.4.1 条第 2 款第 3)、4) 项进行测记。 $\overline{\text{CU}}$  试验测读轴向位移计时应同时测读孔隙压力计的读数。

5) 试验结束后, 按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 5)、6) 项退掉压力, 卸除压力室外罩及试样。

## 18.5.2 试验结果应按下列公式计算及制图:

### 1 试样固结后高度:

按实测固结下沉  $h_c = h_0 - \Delta h_c$  (18.5.2—1)

按等应变简化式  $h_c = h_0 \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0}\right)^{1/3}$  (18.5.2—2)



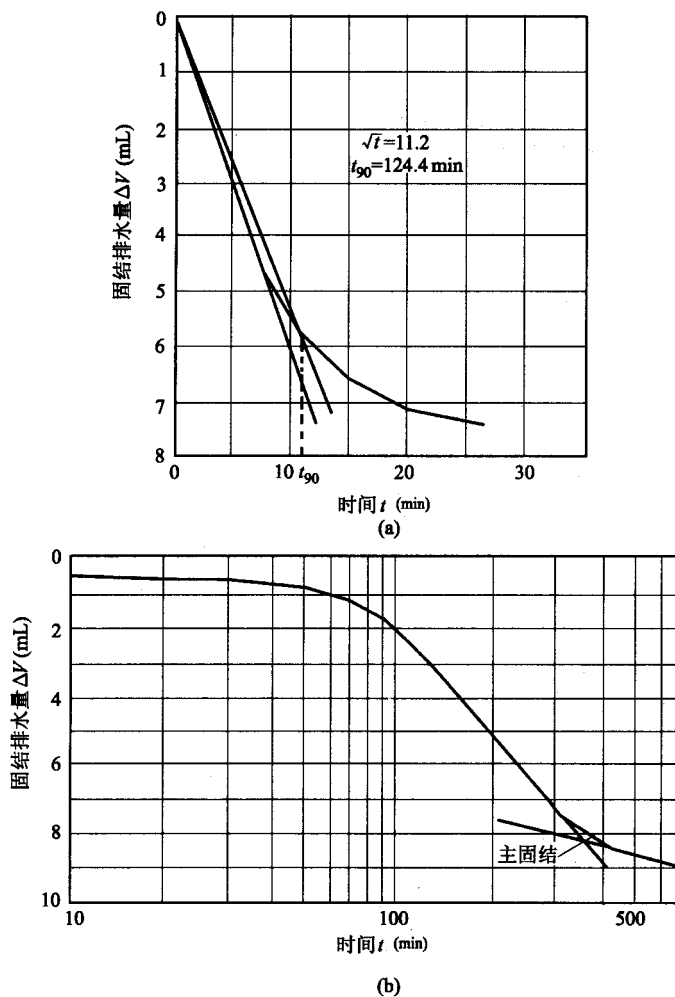


图 18.5.1 排水量与排水时间的关系曲线

(a) 固结排水量与时间平方根曲线；(b) 固结排水量与时间对数曲线

式中  $h_c$ ——试样固结后高度 (cm)，计算至 0.01cm；

$\Delta h_c$ ——实测固结变形量 (cm)；

$h_0, V_0$ ——分别为试样原始高度 (cm) 和体积 ( $\text{cm}^3$ )；

$\Delta V$ ——试样固结前后体积变化 (可由实测或试验前后质量差换算)。

2 试样固结后面积：

$$\text{按实测固结下沉 } A_c = \frac{V_0 - \Delta V}{h_c} \quad (18.5.2-3)$$

$$\text{按等应变简化式 } A_c = A_0 \left( 1 - \frac{\Delta V}{V_0} \right)^{2/3} \quad (18.5.2-4)$$

式中  $A_c$ ——试样固结后面积 ( $\text{cm}^2$ )，计算至  $0.01 \text{ cm}^2$ 。

3 试样剪切时的面积：

$$A_a = \frac{A_c}{1 - 0.01 \epsilon_1} \quad (18.5.2-5)$$

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h_i}{h_c} \times 100 \quad (18.5.2-6)$$

4 主应力差应按本规程式 (18.4.2—3) 计算。

5 有效主应力比：

$$\frac{\sigma'_1}{\sigma'_3} = \frac{\sigma_1 - u}{\sigma_3 - u} \quad (18.5.2-7)$$

式中  $\sigma'_1$ ——有效大主应力 (kPa)；

$\sigma'_3$ ——有效小主应力 (kPa)；

$u$ ——孔隙水压力 (kPa)。

6 初始孔隙水压力系数：

$$B = \frac{u_1}{\sigma_3} \quad (18.5.2-8)$$

式中  $B$ ——试样初始孔隙水压力系数；

$u_1$ ——在周围压力下所产生的初始孔隙压力 (kPa)。

7 试样破坏时孔隙水压力系数：

$$A_f = \frac{u_f}{B (\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (18.5.2-9)$$

式中  $A_f$ ——试样破坏时孔隙水压力系数，计算至 0.01；

$u_f$ ——试样在主应力差下产生的孔隙压力 (kPa)。

8 主应力差与轴向应变关系曲线应按本规程第 18.4.2 条第 4 款规定绘制。

9 以有效主应力比为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制有效主应力比与轴向应变关系曲线 (见图 18.5.2—1)。

10 以孔隙水压力  $u$  为纵坐标，轴向应变  $\epsilon_1$  为横坐标，绘制孔隙水压力与轴向应变关系曲线 (见图 18.5.2—2)。

11 以  $\frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3)$  为纵坐标与  $\frac{1}{2} (\sigma'_1 + \sigma'_3)$  为横坐标，绘制有效应力路径

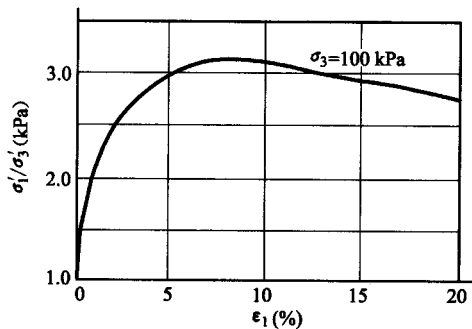


图 18.5.2—1 有效主应力比与轴向应变关系曲线

曲线，以曲线上密集点或转折点作为破坏点，连成一条直线（见图 18.5.2—3），并按下列公式计算有效内摩擦角和有效黏聚力：

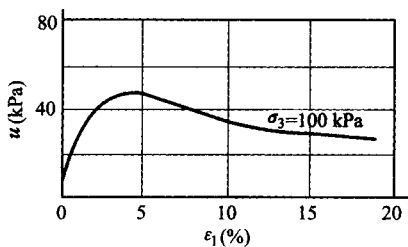


图 18.5.2—2 孔隙压力与轴向应变关系曲线

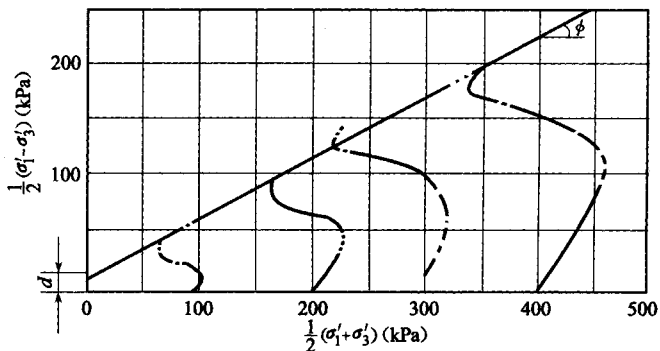


图 18.5.2—3 应力路径曲线（正常固结黏土）

有效内摩擦角：

$$\phi' = \arcsin (\tan \phi) \quad (18.5.2-10)$$

有效黏聚力：

$$C'=\frac{d}{\cos\phi'}$$

(18.5.2—11)

式中  $\phi'$ ——有效内摩擦角 (°)，计算至 0.1°；

$\phi$ ——应力路径曲线图上破坏点连线的倾角 (°)；

$c'$ ——有效应力；

$d$ ——应力路径曲线图上破坏点连线在纵坐标轴上的截距。

12 以有效主应力差或有效主应力比的峰值作为破坏点，无峰值时，以有效应力路径的密集点或轴向应变 15%时主应力差值作为破坏点，按本规程第 18.4.2 条第 5 款的规定绘制破坏应力圆及不同周围压力下的破坏应力圆包线，并求出总应力强度参数；有效内摩擦角和有效黏聚力，应以  $\frac{1}{2}(\sigma'_{1f}+\sigma'_{3f})$  为圆心，以  $\frac{1}{2}(\sigma'_{1f}-\sigma'_{3f})$  为半径（下角标  $f$  表示破坏时的值），绘制有效破坏应力圆确定（见图 18.5.2—4 中的虚线所示）。

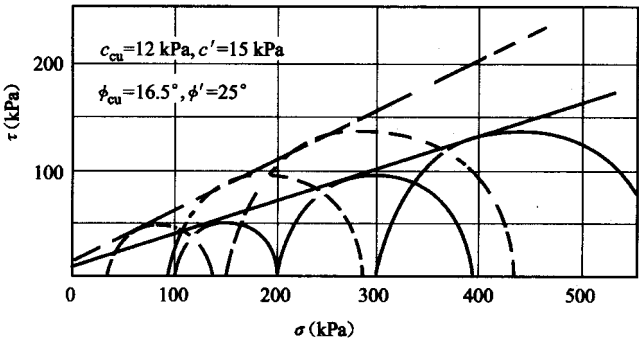


图 18.5.2—4 固结不排水剪强度包线

18.5.3 记录格式应符合表 18.5.3—1 和表 18.5.3—2 的要求。

表 18.5.3—1 三轴压缩试验记录（固结过程）

工程名称：\_\_\_\_\_

试样编号：\_\_\_\_\_

周围压力：_____ (kPa) 试样质量：_____ (g) 试样密度：_____ (g/cm³) 试样饱和度：_____ (%)	试样尺寸	固 结 前		固 结 后	
	试样直径	$D_0$	(mm)	$D_c$	(mm)
	试样高度	$h_0$	(mm)	$h_c$	(mm)
	试样面积	$A_0$	(cm²)	$A_c$	(cm²)
	试样体积	$V_0$	(cm³)	$V_c$	(cm³)

反 压 力 过 程							明 (检结 果)验	固 结 过 程							说明
时间 (min)	周围 压力 $\sigma_3$ (kPa)	反压力 $u_0$ (kPa)	孔隙压 力 $u$ (kPa)	孔隙压 力增 $\Delta u$ (kPa)	试样体积变化			时间 (min)	量 管		孔隙压力		体变管		
					读数 ( $\text{cm}^3$ )	体变量 ( $\text{cm}^3$ )			读数	排水量	读数 (kPa)	压力值 (kPa)	读数 ( $\text{cm}^3$ )	体变值 ( $\text{cm}^3$ )	

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

表 18.5.3—2    三轴压缩试验记录（固结不排水和排水剪切试验）

工程名称：\_\_\_\_\_      试样编号：\_\_\_\_\_

试样固结后高度 $h_c$ : _____ (mm)      试样固结后面积 $A_c$ : _____ (cm <sup>2</sup> )      试样固结后体积 $V_c$ : _____ (cm <sup>3</sup> )																	
周围压力 $\sigma_3$ : _____ (kPa)      剪切速率: _____ (mm/min)      测力计率定系数 $C$ : _____ (N/0.01mm)																	
轴向变 形读数 $\Delta h$ (0.01 mm)	轴向 应变 $\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_c}$ (%)	试样校 正面积 $A_a = \frac{A_c}{1-\epsilon_1}$ (cm <sup>2</sup> )	测力 计读 数 $R$ (0.01 mm)	主应力差 $\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{RC}{A_a} \times 10$ (kPa)	大主应力 $\sigma_1 = (\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_3$ (kPa)	孔隙压力		试样体积变化				有效大 主应力 $\sigma_1'$ (kPa)	有效小 主应力 $\sigma_3'$ (kPa)	有效主 应力比 $\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}$	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ (kPa)	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ (kPa)	$\frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$ (kPa)
						读数	压力值 (kPa)	排水管		体积变化							
								读数	体变量 (cm <sup>3</sup> )	读数	体变量 (cm <sup>3</sup> )						

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

18.6.1    试验操作应按下列步骤进行：

- 1    试样的安装应按本规程第 18.5.1 条第 1 款规定进行。
- 2    排水固结应按本规程第 18.5.1 条第 2 款规定进行。
- 3    试样剪切：

1) 固结排水剪中试样剪切应按表 18.2.2 规定检查各阀门的开启和闭关状态。

2) 剪切速率应采用每分钟应变 0.003%~0.012%。在整个剪切过程中，应使

孔隙水压力消散度达 95% 以上, 当达不到时, 应放慢剪切速率。

3) 启动电动机, 合上离合器。剪切过程中测记测力计、轴向变形读数应按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 2)、4) 项规定进行。在测读轴向变形时, 应同时测体变管读数或排水管水位。在剪切过程中, 应经常调整排水管及量管水的水位, 使水位与试样中心高度齐平。

4) 试样剪切结束后, 关闭排水阀、孔隙压力阀及量管阀。

再按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 5)、6) 项退除压力, 卸掉压力室外罩和试样。

### 18.6.2 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 试样固结后的面积、高度应按本规程式 (18.5.2—1) 和式 (18.5.2—2) 进行计算。

2 剪切时的试样面积校正值:

$$A_a = \frac{V_c - \Delta V_i}{h_c - \Delta h_i} \quad (18.6.2)$$

$$V_c = A_c h_c$$

式中  $V_c$ ——试样固结后体积 ( $\text{cm}^3$ );

$\Delta V_i$ ——剪切过程中试样体积变化 ( $\text{cm}^3$ );

$\Delta h_i$ ——剪切过程中试样高度变化 ( $\text{cm}$ )。

3 主应力差应按本规程公式 (18.4.2—3) 进行计算。

4 有效主应力比及孔隙压力系数应按本规程式 (18.5.2—7)、式 (18.5.2—8) 和式 (18.5.2—9) 进行计算。

5 主应力差与轴向应变关系曲线应按本规程第 18.4.2 条第 4 款规定绘制。

6 主应力比与轴向应变关系曲线应按本规程第 18.5.2 条第 9 款规定绘制。

7 破损应力圆、有效内摩擦角和有效黏聚力应按本规程第 18.5.2 条第 12 款步骤绘制固结排水剪强度包线 (见图 18.6.2)。

### 18.6.3 记录格式应符合本规程表 18.5.3—1 和表 18.5.3—2 的要求。

## 18.7 一个试样多级加荷试验

18.7.1 本试验采用一个试样多级施加周围压力和轴向压力进行剪切, 以测定土的总抗剪强度参数  $c$ 、 $\phi$  和有效抗剪强度参数  $c'$ 、 $\phi'$ 。本方法适用于一般黏性土和粉土。

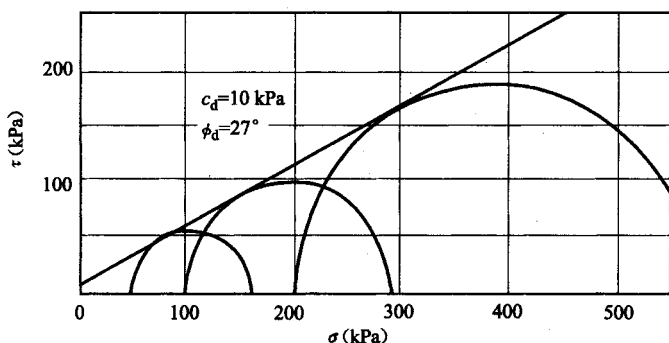


图 18.6.2 固结排水剪强度包线

### 18.7.2 不固结不排水剪试验应按下列步骤进行:

- 1 试样安装应按本规程第 18.4.1 条第 1 款步骤进行。
- 2 施加第一级周围压力, 试样剪切应按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 2)、3) 项规定的应变速率进行。当测力计读数达到稳定或接近稳定时, 测记测力计和轴向位移计读数。关闭电动机, 将测力计调整为零。
- 3 施加第二级周围压力, 这时测力计因施加周围压力读数略有增加, 应将测力计读数调整至零位。然后转动手轮, 当测力计读数微动时, 表示试样帽与测力计重新接触, 再按原来剪切速率进行剪切, 直至测力计读数稳定或接近稳定为止。如此进行第三级、第四级周围压力下的剪切。累计轴向应变不应超过 20%。
- 4 试验结束后, 拆除试样, 称试样的质量, 并测定含水率。
- 5 试验结果应按本规程第 18.4.2 条第 1~4 款规定进行计算及绘图。试样的轴向应变按累计变形计算, 绘制不固结不排水试验的主应力差与轴向应变关系曲线 (见图 18.7.2)。

### 18.7.3 固结不排水剪试验应按下列步骤进行:

- 1 试样安装应按本规程第 18.5.1 条第 1 款步骤进行。
- 2 试样固结应按本规程第 18.5.1 条第 2 款步骤进行。第一级周围压力采用 50kPa, 第二级和以后各级周围压力应等于、大于前一级周围压力下的破坏大主应力。
- 3 试样剪切按本规程第 18.5.1 条第 3 款步骤进行。第一级剪切完成后, 退除轴向压力, 待孔隙压力稳定后再施加第二级周围压力, 进行排水固结。
- 4 固结完成后进行第二级周围压力下的剪切, 并按上述步骤进行, 第三级周

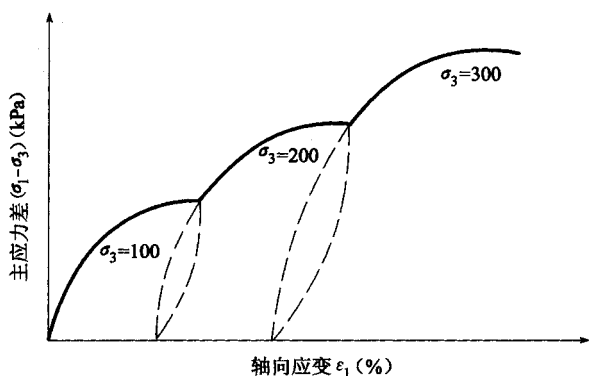


图 18.7.2 不固结不排水剪的应力与应变关系曲线

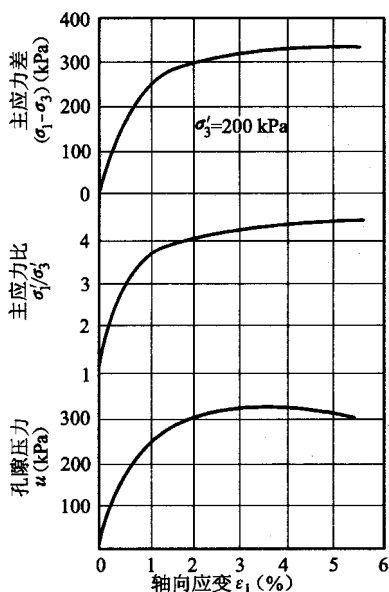


图 18.7.3—1 固结不排水剪应力与应变曲线

围压力下的剪切，累计轴向应变不得超过 20%。

5 试验结束后，拆除试样，称试样质量并测定含水率。

6 试验结果应按本规程第 18.5.2 条的规定进行计算及绘图。试样的轴向变形，应以前一级剪切终了退去轴向压力后的试样高度作为后一级的起始高度，计算各级周围压力下的轴向应变。绘制固结不排水剪应力与应变曲线（见图 18.7.3—1）及一个试样固结不排水剪强度包线（见图 18.7.3—2）。



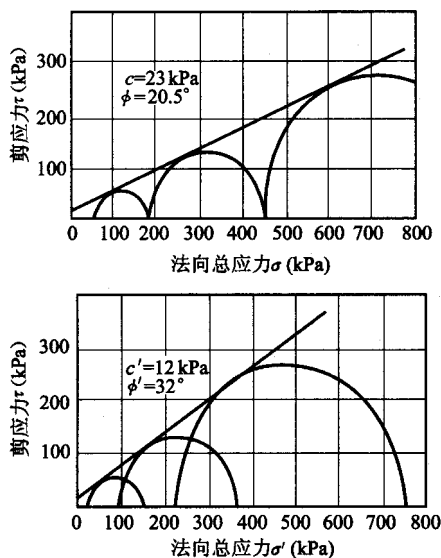


图 18.7.3—2 一个试样固结不排水剪强度包线

18.7.4 记录格式应符合本规程表 18.4.3、表 18.5.3—1 和表 18.5.3—2 的要求。

## 19 无侧限抗压强度试验

19.0.1 无侧限抗压强度是圆柱体试样在无侧向压力条件下，抵抗轴向压力的极限强度。

原状土无侧限抗压强度与相应的重塑土无侧限抗压强度之比为土的灵敏度。

19.0.2 本试验适用于测定在自重作用下不发生变形的饱和软黏土的无侧限抗压强度  $q_u$  和灵敏度  $S_t$ 。

19.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

1 应变控制式无侧限压缩仪：见图 19.0.3 所示。包括轴向测力计、轴向位移计、加荷架、升降板以及上、下传压板等。测力计按本规程附录 C 进行标定。

2 轴向位移计：量程 10mm，分度值 0.01mm 的百分表或准确度为全量程 0.2% 的位移传感器。

3 天平：称量 500g，分度值 0.1g。

4 其他：切土盘、重塑筒、秒表、0.1mm 精度卡尺、切土刀、钢丝锯、凡士林等。

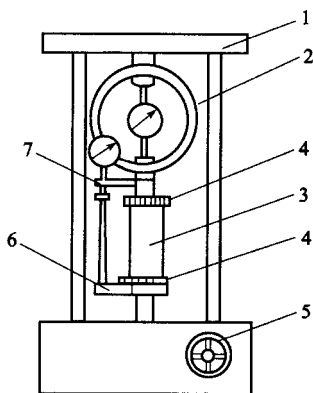


图 19.0.3 应变控制式无侧限压缩仪

1—轴向加荷架；2—轴向测力计；3—试样；4—上、下传压板；

5—手轮或电动转轮；6—升降板；7—轴向位移计

#### 19.0.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 按本规程第 18.3 节制备试样。试样直径宜为 35~50mm，高径比宜为 2.0~2.5。

2 将已制备的试样置于下传压板上，开始转动转轮，使试样与上传压板刚好接触，并将轴向测力计和轴向位移计的读数均调整到零。

3 以每分钟 1%~3% 的应变速度（每分钟约 5—15 转）转动转轮，使整个试验在 8~10min 内完成。

4 轴向应变小于 3% 时，每增加 0.5% 记录测力计和位移计读数一次；轴向应变到达 3% 以后，每增加 1% 记录测力计和位移计读数一次。

5 测力计读数达到峰值或稳定值以后，应继续转动转轮，再进行 3%~5% 的应变值，即可停止试验。当读数无稳定值时，则试验应进行到轴向应变达 20% 为止。

6 试验结束后，迅速反转转轮，取出试样，并描述破坏后试样的形状。

7 当需测定灵敏度时，应将已破坏后的试样刮掉表面上的凡士林，再加入少量切削下来的余土，包以塑料布，用手搓捏，以破坏其原来结构。按本规程第 3.2 节制成与原状试样密度相等的重塑试样。然后按上述步骤进行试验。

#### 19.0.5 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 轴向应变：

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad (19.0.5-1)$$

式中  $\epsilon_1$ ——轴向应变 (%)；

$\Delta h$ ——轴向变形 (mm)；

$h_0$ ——试样的初始高度 (mm)。

2 校正后的试样面积：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - 0.01\epsilon_1} \quad (19.0.5-2)$$

式中  $A_a$ ——校正后试样面积 (cm<sup>2</sup>)；

$A_0$ ——试样初始面积 (cm<sup>2</sup>)。

3 试样所受的轴向应力：

$$\sigma = \frac{C \cdot R}{A_a} \times 10 \quad (19.0.5-3)$$

式中  $\sigma$ ——轴向应力 (kPa)；

$C$ ——测力计率定系数 (N/0.01mm)；

$R$ ——测力计读数 (0.01mm)；

10——单位换算因数。

4 以轴向应力为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制应力与应变关系曲线；见图 19.0.5。在曲线上最大轴向应力值为  $q_u$ ，当最大轴向应力值不明显时，可取轴向应变为 15% 处的应力为无侧限抗压强度值。

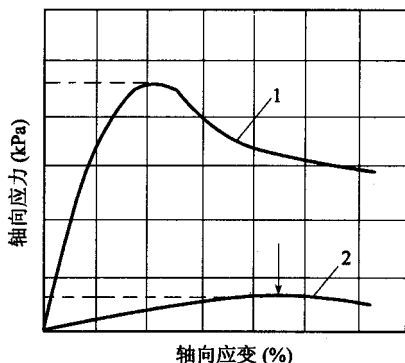


图 19.0.5 轴向应力与轴向应变关系曲线

1—原状试样；2—重塑试样

5 灵敏度：

$$S_t = \frac{q_u}{q_u'}$$

(19.0.5—4)

式中  $S_t$ ——灵敏度；  
 $q_u$ ——原状试样的无侧限抗压强度（kPa）；  
 $q_u'$ ——重塑试样的无侧限抗压强度（kPa）。

19.0.6 记录格式应符合表 19.0.6 的要求。

表 19.0.6 无侧限抗压强度试验记录

试样说明\_\_\_\_\_ 试样编号\_\_\_\_\_

试验前试样高度 $h_0=$ cm		转轮每转一转上升高度 $\Delta L=$ mm		试样破坏状态		
试验前试样直径 $D_0=$ cm		量力环率定系数 $C=$ N/0.01mm				
试验前试样面积 $A_0=$ cm <sup>2</sup>		原状试样无侧限抗压强度 $q_u=$ kPa				
试样质量 $m=$ g		重塑试样无侧限抗压强度 $q_u'=$ kPa				
试样密度 $\rho=$ g/cm <sup>3</sup>		灵敏度 $S_t=$				
转轮转数	测力计读数	轴向变形	轴向应变	校正后面积	轴向荷重	轴向应力
(n)	(0.01mm)	(0.01mm)	(%)	(cm <sup>2</sup> )	(N)	(kPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
				$\frac{A_0}{1-(4)}$	$C\times(2)$	$\frac{(6)}{(5)}\times 10$

复核\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

20 击实试验

20.0.1 击实试验是测定试样在标准击实功作用下含水率与干密度之间的关系，从而确定该试样的最优含水率和最大干密度。

**20.0.2** 本试验应分轻型击实和重型击实。轻型击实试验单位体积击实功宜为 600kJ/m³，重型击实试验单位体积击实功宜为 2700kJ/m³。

**20.0.3** 本试验类型和方法列于表 20.0.3，应根据工程要求和试样最大粒径选用。

表 20.0.3 击实试验标准技术参数

试验类型	试 验 方 法									
	编号	击实仪规格						试验条件		
		击锤			击实筒			护筒	层数	每层击数
		质量	锤底直径	落距	内径	筒高	容积	高度		最大粒径
		(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm³)	(mm)		(mm)
轻型	Q1	2.5	51	305	102	116	947.4	50	3	25
	Q2	2.5	51	305	152	116	2103.9	50	3	56
重型	Z1	4.5	51	457	102	116	947.4	50	5	25
	Z2	4.5	51	457	152	116	2103.9	50	5	56
	Z3	4.5	51	457	152	116	2103.9	50	3	94

注：1 Q1、Q2、Z1、Z3、圈分别称轻 1、轻 2、重 1、重 2、重 3；

2 Q2、Z2、Z3 筒高为筒内净高。

**20.0.4** 当试样中粒径大于各方法相应最大粒径 5mm、20mm 或 40mm 的颗粒质量占总质量的 5%~30%时，其最大干密度和最优含水率应进行校正。

**20.0.5** 本试验应采用下列仪器设备：

1 击实筒：钢制圆柱形筒，尺寸应符合表 20.0.3 规定。该筒配有钢护筒、底板和垫块，见图 20.0.5—1。

2 击锤：击锤必须配备导筒，锤与导筒之间要有相应的间隙，使锤能自由下落，并设有排气孔，见图 20.0.5—2。击锤可用人工操作或机械操作，机械操作的击锤必须有控制落距的跟踪装置和锤击点按一定角度均匀分布的装置。

3 推土器：螺旋式推土器或其他适用设备。

4 天平：称量 200g，分度值 0.01g。

5 台秤：称量 15kg，分度值 5g。

6 标准筛：孔径为 5mm、20mm、40mm。

7 其他：碾土设备、喷水设备、切土刀、称量盒、烘箱等。

**20.0.6** 试样制备分为干法和湿法两种，应符合下列规定：

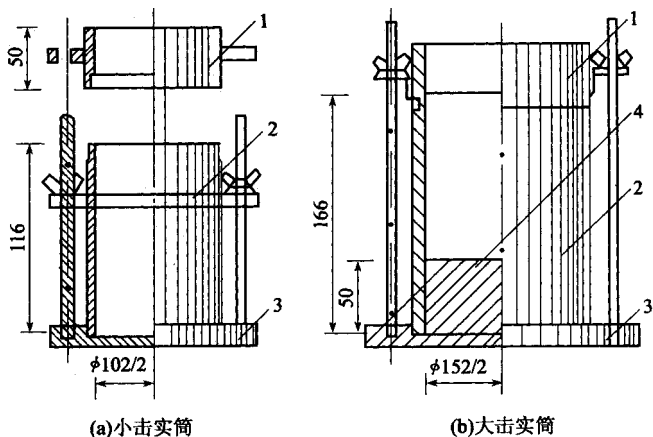


图 20.0.5—1 击实筒 (mm)

1—护筒；2—击实筒；3—底板；4—垫块

1 干法制备试样应按下列步骤进行：

1) 将代表性试样风干或在低于 50℃ 温度下进行烘干。烘干后以不破坏试样的基本颗粒为准。将土碾碎，过 5mm、20mm 或 40mm 筛，拌和均匀备用。试样数量，小直径击实筒最少 20kg，大直径击实筒最少 50kg。

2) 按本规程第 4.2 节烘干法测定试样的风干含水率。按试样的塑限估计最优含水率，在最优含水率附近选择依次相差约 2% 的含水率制备一组试样至少 5 个，其中 2 个含水率大于塑限、2 个小于塑限、1 个接近塑限。加水量可用下式计算：

$$m_w' = \frac{m_0}{1 + w_0} (w' - w_0) \quad (20.0.6)$$

式中  $m_w'$ ——所需加水量 (g)；

$m_0$ ——风干试样质量 (g)；

$w_0$ ——风干试样含水率 (%)；

$w'$ ——要求达到的含水率 (%)。

3) 按预定的含水率制备试样。根据击实筒容积大小，每个试样取 2.5kg 或 6.5kg，平铺于不吸水的平板上，洒水拌和均匀，然后分别放入有盖的容器里静置备用。高塑性黏性土静置时间不得小于 24h，低塑性黏性土静置时间可缩短，但不应小于 12h。

2 湿法制备试样应按下列步骤进行：将天然含水率的试样碾碎过 5mm、

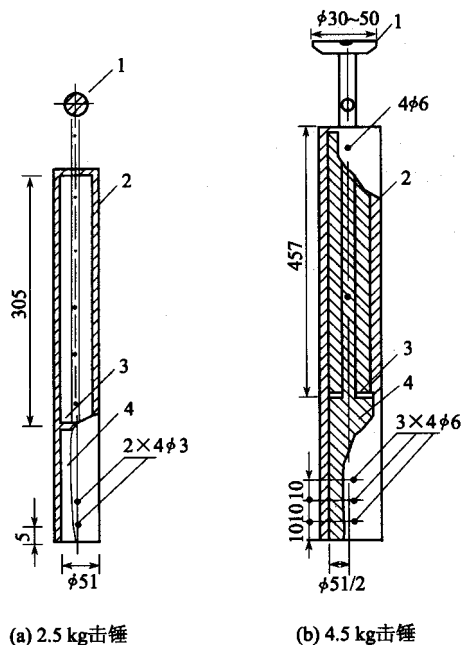


图 20.0.5—2 击锤与导筒 (单位: mm)

1—提手; 2—导筒; 3—硬橡皮垫; 4—击锤

20mm 或 40mm 筛, 混合均匀后, 按选用击实筒容积取 5 份试样, 其中一份保持天然含水率, 其余 4 份分别风干或加水达到所要求的不同含水率。制备好的试样要完全拌匀, 保证水分均匀分布。

#### 20.0.7 试验操作应按下列步骤进行:

1 称取击实筒质量 ( $m_1$ ) 并作记录。

2 将击实仪放在坚实的地面上, 安装好击实筒及护筒 (大直径击实筒内还要放入垫块), 内壁涂少许润滑油。每个试样应根据选用试验类型按表 20.0.3 规定, 分层击实。每层高度应近似, 两层交界处层面刨毛, 所用试样的总量应使最后的击实面超出击实筒顶不大于 6mm。击实时要保持导筒垂直平稳, 并按第 20.0.3 条规定相应试验类型的层数和击数, 以均匀速度作用到整个试样上。击锤应沿击实筒周围锤击一遍后, 中间再加一击。

3 击实完成后拆去护筒, 用切土刀修平击实筒顶部的试样, 拆除底板, 当试样底面超出筒外时, 也应修平, 擦净筒的外壁, 称筒和试样的总质量, 准确至 5g。

4 用推土器将试样从筒中推出, 从其中心取 2 个代表性试样按本规程第 4.2

节烘干法测定含水率。

5 试样不宜重复使用。对易被击碎的脆性颗粒及高塑性黏土的试样不得重复使用。

6 按以上步骤进行不同含水率试样的击实。

20.0.8 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 击实后试样的湿密度：

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \tag{20.0.8—1}$$

式中  $\rho$ ——击实后试样的湿密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )，计算至  $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$m_2$ ——击实后筒和湿试样质量 ( $\text{g}$ )；

$m_1$ ——击实筒质量 ( $\text{g}$ )；

$V$ ——击实筒容积 ( $\text{cm}^3$ )。

2 击实后试样的干密度：

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \tag{20.0.8—2}$$

式中  $\rho_d$ ——击实后试样的干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )，计算至  $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$w$ ——含水率 ( $\%$ )。

3 以干密度为纵坐标，含水率为横坐标，绘制干密度与含水率的关系曲线，见图 20.0.80 曲线上峰值点的纵横坐标分别表示该击实试样的最大干密度和最优含水率。若曲线不能绘出正确的峰值点，应进行补点。

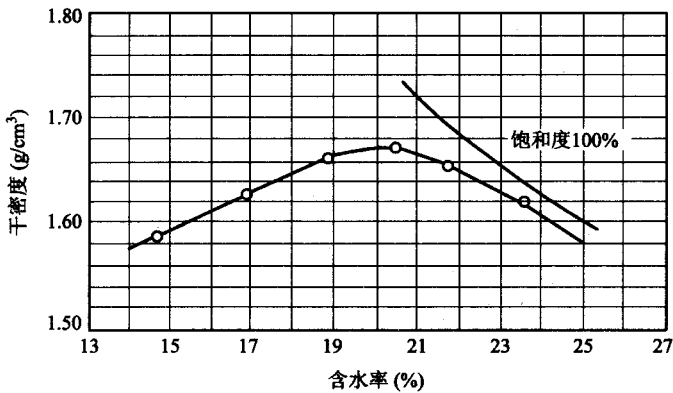


图 20.0.8  $\rho_d-w$  关系曲线



4 根据第 20.0.4 条规定, 试验所得的最大干密度和最优含水率需校正时, 应按以下公式进行:

1) 校正后试样的最大干密度:

$$\rho'_{\text{dmax}} = \frac{1}{\frac{1-P_s}{\rho_{\text{dmax}}} + \frac{P_s}{\rho_a}} \quad (20.0.8-3)$$

式中  $\rho'_{\text{dmax}}$ ——校正后试样的最大干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 计算至  $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$\rho_{\text{dmax}}$ ——粒径小于 5mm、20mm 或 40mm 的试样试验所得的最大干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$P_s$ ——试样中粒径大于 5mm、20mm 或 40mm 的颗粒含量的质量分数;

$\rho_a$ ——粒径大于 5mm、20mm 或 40mm 的颗粒毛体积密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 由本规程第 6.3 节或第 6.4 节测得。

2) 校正后试样的最优含水率:

$$w'_{\text{opt}} = w_{\text{opt}} (1 - P_s) + P_s w_x \quad (20.0.8-4)$$

式中  $w'_{\text{opt}}$ ——校正后试样的最优含水率 ( $\%$ ), 计算至  $0.01\%$ ;

$w_{\text{opt}}$ ——粒径小于 5mm、20mm 或 40mm 的试样试验所得的最优含水率 ( $\%$ );

$w_x$ ——粒径大于 5mm、20mm 或 40mm 颗粒吸着含水率 ( $\%$ ), 由本规程第 6.3 节或第 6.4 节测得。

5 饱和含水率:

$$w_{\text{sat}} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{\rho_w}{\rho_s} \right) \times 100 \quad (20.0.8-5)$$

式中  $w_{\text{sat}}$ ——饱和含水率 ( $\%$ ), 计算至  $0.1\%$ ;

$\rho_s$ ——试样颗粒密度, 对于粗粒土, 则为试样中粗细颗粒的混合密度;

$\rho_w$ —— $4^\circ\text{C}$  时水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

6 计算数个干密度下试样的饱和含水率, 以干密度为纵坐标, 含水率为横坐标, 绘制出饱和曲线, 见图 20.0.8。

**20.0.9** 记录格式应符合表 20.0.9 的要求。

表 20.0.9 击实试验记录

试样编号\_\_\_\_\_

试验方法		风干试样含水率		层数									
土的分类		估计最优含水率		每层击数									
土的密度		干法、湿法制备											
试验点号				1	2	3	4	5					
干密度	筒和试样总质量(g)		(1)										
	筒质量(g)		(2)										
	湿试样质量(g)		(3)	(1)－(2)									
	湿密度(g/cm³)		(4)										
	干密度(g/cm³)		(5)	$\frac{(4)}{1+w}$									
含水率	盒号		—										
	盒和湿试样总质量(g)		(1)										
	盒和干试样总质量(g)		(2)										
	盒质量(g)		(3)										
	水质量(g)		(4)	(1)－(2)									
	干试样质量(g)		(5)	(2)－(3)									
	含水率(%)		(6)	$[(4) \div (5)] \times 100$									
	平均含水率(%)												
最大干密度 g/cm³			最优含水率 %			饱和度 %							
大于 5mm、20mm 或 40mm 颗粒含量 %		校正后最大干密度 g/cm³			校正后最优含水率 %								

复核\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

21  $K_{30}$ 、 $E_{vd}$  平板载荷试验

21.1 一般规定

21.1.1  $K_{30}$  平板载荷试验是采用直径为 30cm 的荷载板测定下沉量为 1.25mm 地基系数的试验方法。计量单位为 MPa/m。

21.1.2  $E_{vd}$  动态平板载荷试验是采用动态变形模量测试仪来监控检测土体承载力

指标——动态变形模量  $E_{vd}$  的试验方法。它通过落锤试验和沉陷测定来直接测出反映土体动态特性的指标  $E_{vd}$ ，计量单位为 MPa。

**21.1.3**  $K_{30}$  平板载荷试验和  $E_{vd}$  动态平板载荷试验适用于粒径不大于荷载板直径  $1/4$  的各类土和土石混合填料，测试有效深度范围为  $400\sim 500\text{mm}$ 。

**21.1.4** 试验场地及环境条件应符合下列要求：

1  $K_{30}$  平板载荷试验：

1) 对于水分挥发快的均粒砂，表面结硬壳、软化、或因其他原因表层扰动的土，平板荷载试验应置于扰动带以下进行。

2) 对于粗、细粒均质土，宜在压实后  $2\sim 4\text{h}$  内开始进行。

3) 测试面必须是平整无坑洞的地面。对于粗粒土或混合料造成的表面凹凸不平，应铺设一层约  $2\sim 3\text{mm}$  的干燥中砂或石膏腻子。此外，测试面必须远离震源，以保持测试精度。

4) 雨天或风力大于 6 级的天气，不得进行试验。

2  $E_{vd}$  动态平板载荷试验：

1) 测试面宜水平，其倾斜度不大于  $5^\circ$ 。

2) 测试面必须平整无坑洞。对于粗粒土或混合料造成的表面凹凸不平，可用少量细中砂来补平。

3) 试验时测试点必须远离震源。

**21.2**  $K_{30}$  平板载荷试验

**21.2.1** 本试验应采用下列仪器设备：

1 荷载板：荷载板为圆形钢板，其直径为  $30\text{cm}$ ，板厚为  $25\text{mm}$ 。荷载板上应带有水准泡。

2 加载装置：

1) 液压千斤顶与手动油泵，通过高压油软管连接。千斤顶顶端应设置球铰，并配有可调节丝杆和加长杆件，以便与各种不同高度的反力装置相适应。选用荷载应大于或等于  $50\text{kN}$ 。

2) 液压油软管长度至少为  $2\text{m}$ ，两端应装有自动开闭阀门的快速接头，以防止液压油漏出。

3) 手动液压泵上应装有一个可调节减压阀，可准确地分级对荷载板实施加、卸载。

4) 测压表量程应达到最大试验荷载的 1.25 倍, 精度不低于 0.6 级。

5) 当使用测力计直接测量加荷荷载时, 测力计精度应达到 1%。

3 反力装置的承载能力应大于最大试验荷载 10kN。

4 下沉量测量装置由测桥和测表组成。测桥是用于安装测表固定支架或作为测表量测基准面, 由长度大于 3m 的支撑梁和支撑座组成, 当跨度为 4m 时其截面系数应大于或等于  $8\text{cm}^3$ 。测表宜配置 3~4 个精度为 0.01mm 的百分表或电子数显百分表, 量程应不小于 10mm, 每个测表应配有可调式固定支架。

5 其他: 铁锹、钢板尺 (长 400mm)、毛刷、圪工泥刀、刮铲、水准仪、铅锤、褶尺、干燥中砂、石膏、油、遮阳挡风设施等。

### 21.2.2 试验仪器的校验应符合下列规定:

1 测试地基系数时, 应对仪器进行测试校验。

2 新仪器进行试验的三个月内, 应每月标定一次, 以作出相应误差修正。当三次标定误差小于  $\pm 5\%$  时, 仪器进入稳定期。

3 仪器每次投入新工点或每年必须予以校验一次。仪器校验方法见本规程附录 E。

### 21.2.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 场地测试面应进行平整, 并使用毛刷扫去松土。当处于斜坡上时, 应将荷载板支撑面做成水平面。

2 安置平板载荷仪:

1) 将荷载板放置于测试地面上, 应使荷载板与地面良好接触, 必要时可铺设一薄层干燥砂 (2~3mm) 或石膏腻子。当用石膏腻子做垫层时, 应在荷载板底面上抹一层油膜, 然后将荷载板安放在石膏层上, 左右转动荷载板并轻轻击打顶面, 使其与地面完全接触, 与此同时可借助荷载板上水准泡或水准仪调整水平。

2) 将反力装置承载部分安置于荷载板上方, 并加以制动。反力装置的支撑点必须距荷载板外侧边缘 1m 以外。

3) 将千斤顶放置于反力装置下面的荷载板上, 可利用加长杆和通过调节丝杆, 使千斤顶顶端球铰座紧贴在反力装置承载部位上, 组装时应保持千斤顶垂直不出现倾斜。

4) 安置测桥, 测桥支撑座应设置在距离荷载板外侧边缘及反力装置支承点 1m 以外, 测表的安放必须相互对称, 并且应与荷载板中心保持等距离。

3 加载试验:

1) 为稳固荷载板, 预先加 0.01MPa 荷载约 30s, 待稳定后卸除荷载, 将百分表读数调至零或读取百分表读数作为下沉量的起始读数。

2) 以 0.04MPa 的增量, 逐级加载。每增加一级荷载, 当 1min 的沉降量不大于该级荷载产生的沉降量的 1% 时, 读取荷载强度和下沉量读数, 然后增加下一级荷载。

3) 当总下沉量超过规定的基准值 (1.25mm), 或者荷载强度超过估计的现场实际最大接触压力, 或者达到地基的屈服点, 试验即可终止。

4 当试验过程出现异常时 (如荷载板严重倾斜, 荷载板过度下沉), 应将试验点下挖相当于荷载板直径的深度, 重新进行试验。对出现的异常应在试验记录表中注明。

21.2.4 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 根据试验结果绘出荷载强度与下沉量关系曲线, 见图 21.2.4。

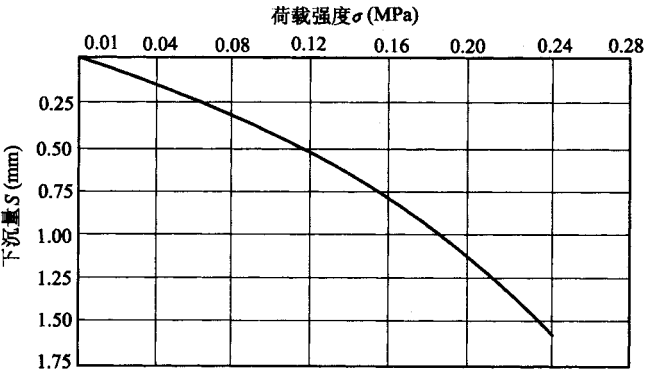


图 21.2.4 荷载强度  $\sigma$ —下沉量  $S$  关系曲线

2 从荷载强度与下沉量关系曲线得出下沉量基准值时的荷载强度, 并按下式计算出地基系数:

$$K_{30} = \sigma_s / S_s \tag{21.2.4}$$

式中  $K_{30}$ ——由直径 30cm 的荷载板测得的地基系数 (MPa/m), 计算取整数;  
 $\sigma_s$ —— $\mu$ - $S$  曲线中  $S_s = 1.25 \times 10^{-3} \text{m}$  相对应的荷载强度 (MPa);  
 $S_s$ ——下沉量基准值 ( $= 1.25 \times 10^{-3} \text{m}$ )。

21.2.5 试验记录格式应符合表 21.2.5 的要求。

表 21.2.5  $K_{30}$  平板载荷试验记录

工程名称:		填料类型:		试验编号:			
工程地点:		填层厚度:		试验日期:			
施工单位:		检测里程:		试验人员:			
荷载板直径:		检测标高:		试验负责人:			
加载顺序	荷载强度 $\sigma$ (MPa)	油压表读数 $P_{\text{压}}$ (MPa)	下沉量 $S$ (mm)(百分表读数)				荷载板中心 下沉量(mm)
			表 1	表 2	表 3	平均	
预压	0.01						
复位	0.00						
1	0.04						
2	0.08						
3	0.12						
4	0.16						
5	0.20						
6	0.24						

复核\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

21.2.6 随机误差应按下列规定进行校正：

1 由被测土体表面状态影响，所出现的随机误差可通过作图法和  $K_{30}$  AD-  
JUST 程序进行校正。

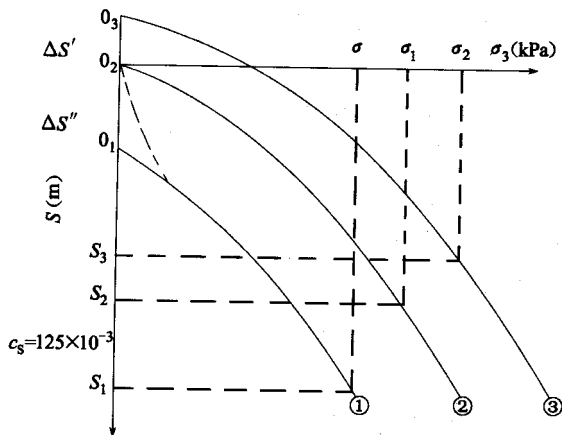
2 作图法校正见图 21.2.6 所示。

当试验结果如图中曲线②时，曲线经坐标原点，可不校正。

当试验误差结果如图中曲线①时，应在曲线出现明显拐点的位置沿正常曲线延  
伸，使交  $S$  轴于  $0_1$  点，此时零点下移  $\Delta S''$ ，标准下沉量应为  $S_1 = S_s + \Delta S''$ ，并由此  
对应的荷载强度  $\sigma_1$  计算出  $K_s$  值。

当试验结果如图中曲线③时，应在曲线出现明显拐点的位置沿正常曲线曲率延  
伸，使交  $S$  轴于  $0_3$  点，此时零点上移  $\Delta S'$ ，标准下沉量应为  $S_3 = S_s - \Delta S'$ ，并由此  
对应的荷载强度  $\sigma_3$  计算出  $K_s$  值。

21.3  $E_{vd}$  动态平板载荷试验



**21.3.1 本试验应采用下列仪器设备:**

2 加载装置主要由挂（脱）钩装置、落锤、导向杆、阻尼装置等部分构成。

2) 最大冲击力:  $7.07\text{kN}$ 。

3) 冲击持续时间:  $18 \pm 2\text{ms}$ 。

4) 导向杆必须保持垂直、光洁。

3 荷载板主要由圆形钢板和传感器等部分构成。

1) 圆形钢板直径 300mm; 厚度 20mm。

2) 传感器必须牢固密贴地安装在荷载板的中心位置上。

4 沉陷测定仪主要由信号处理、显示、打印机和电源等部分构成。

5 沉陷测试范围:  $(0.1 \sim 2.0) \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ 。

$E_{\text{vd}}$  测试范围:  $10\text{MPa} < E_{\text{vd}} < 225\text{MPa}$ 。

**21.3.2 仪器的校验和标定应符合下列要求:**

2 仪器每年必须重新标定一次。

### 21.3.3 试验操作应按下列步骤进行:

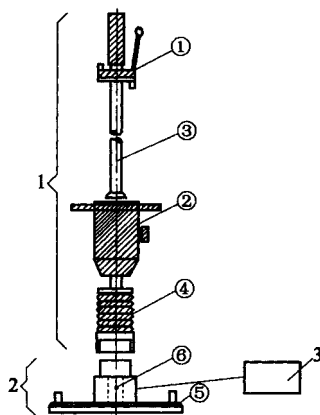


图 21.3.1 动态变形模量测试仪

1—加载装置 (①挂(脱)钩装置; ②落锤; ③导向杆; ④阻尼装置);  
2—荷载板 (⑤圆形钢板; ⑥传感器); 3—沉陷测定仪

1) 测试面应整平。应使荷载板与地面良好接触。必要时可用少量的细中砂来补平。

2) 导向杆应保持垂直。

3) 检查仪器标明的落距。

2 测试步骤:

1) 荷载板放置在平整好的测试面上, 安装上导向杆并保持其垂直。

2) 将落锤提升至挂(脱)钩装置上挂住, 然后使落锤脱钩并自由落下, 当落锤弹回后将其抓住并挂在挂(脱)钩装置上。按此操作进行三次预冲击。

3) 正式测试时按上述第 2) 项的方式进行三次冲击测试, 作为正式测试记录。测试时应避免荷载板的移动和跳跃。

4) 测试时, 应记录每个测点的工程名称、检测部位、试验时间、土的种类、含水率以及相关的参数。

21.3.4 试验结果应按下列平板压力公式计算:

$$E_{vd} = 1.5 \times r \times \sigma / S \quad (21.3.4-1)$$

式中  $E_{vd}$ ——动态变形模量 (MPa), 计算至 0.1MPa;

$r$ ——圆形刚性荷载板的半径 (mm), 即  $r=150\text{mm}$ ;

$\sigma$ ——荷载板下的最大动应力, 它是通过在刚性基础上, 由最大冲击力  $F_s$



## 22.1 一般规定

**22.1.1** 黄土湿陷性是黄土在一定的压力、浸水作用下，产生压缩、湿陷变形的过程。

**22.1.2** 黄土湿陷性试验应根据不同工程要求，分别测定黄土的湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力。

**22.1.3** 本试验在同一土样中制备的试样密度差值不得大于  $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

## **22.2 湿陷系数的测定**

**22.2.1** 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条规定。环刀面积不得小于  $50\text{cm}^2$ 。

**22.2.2** 试验操作应按下列步骤进行：

1 切土时，应使试样的加荷方向与土层受压方向一致。如遇有大孔隙贯通试样时，应用切余的碎土填入堵塞。

2 试样安装及施加预压应按本规程第 15.2.2 条第 2~3 款规定进行。浸水水质应采用纯水，当有特殊要求时，可按要求的水质浸水，但应在报告中加以注明水质条件。

3 记录初读数后，立即卸除预压力，开始施加第一级压力  $50\text{kPa}$ ，加压后，每隔  $1\text{h}$  测记百分表读数一次，直至试样变形稳定为止。然后依次施加第二级及以后各级压力。

4 加压等级一般为  $50$ 、 $100$ 、 $150$ 、 $200\text{kPa}$ ，最后一级压力应按取土深度而定：从基底算起至  $10\text{m}$  深度以内，压力为  $200\text{kPa}$ ； $10\text{m}$  以下至非湿陷性土层顶面，使用其上覆土层的饱和自重压力，当大于  $300\text{kPa}$  时，仍应用  $300\text{kPa}$ ；当基底压力大于  $300\text{kPa}$  时，宜按实际压力确定。

5 当试样在最后一级压力下变形稳定后，向容器内注入纯水，水面应高出试样顶面，并保持该水面直至试验结束。每隔  $1\text{h}$  测读百分表一次，直至试样变形稳定为止。

6 各级压力下及浸水后的变形稳定标准为每小时变形量不大于  $0.01\text{mm}$ 。

7 拆卸仪器及试样应符合本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定。

**22.2.3** 试验结果应按下式计算：

$$\delta_s = \frac{h_p - h_p'}{h_0} \quad (22.2.3)$$

式中  $\delta_s$ ——湿陷系数，计算至  $0.001$ ；

$h_p$ ——试样在加至最后一级压力时，下沉稳定后的高度（mm）；  
 $h_p'$ ——试样在加至最后一级压力稳定后，经浸水下沉稳定的高度（mm）；  
 $h_0$ ——试样的原始高度（mm）。

22.2.4 记录格式应符合表 22.2.4 的要求。

表 22.2.4 黄土湿陷性试验记录

试样编号\_\_\_\_\_ 仪器号\_\_\_\_\_ 试验方法\_\_\_\_\_

试样初始高度\_\_\_\_\_mm 试样含水率\_\_\_\_\_

试样密度\_\_\_\_\_ 颗粒密度\_\_\_\_\_

压力(KPa)  变形读数(mm)											浸 水	
	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数
总变形量												
仪器变形量												
试样变形量												
试样高度												
	湿陷变形系数 $\delta_s = \frac{h_1 - h_2}{h_0}$						自重湿陷系数 $\delta_{zs} = \frac{h_z - h_z'}{h_0}$					

复核\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_ 年\_\_月\_\_日

22.3 自重湿陷系数的测定

**22.3.1** 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 22.2.1 条规定。

**22.3.2** 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 试样制备及安装应按本规程第 22.2.2 条第 1~2 款规定进行。
- 2 土的饱和自重压力按下式计算确定。

$$P_z = g_n \sum_{i=1}^n \rho_{sri} \times H_i \quad (22.3.2-1)$$

$$\rho_{sri} = \frac{\rho_{oi}}{1 + 0.01w_{oi}} \left( 1 - \frac{0.85}{\rho_{si}} \rho_{wi} \right) + 0.85\rho_{wi} \quad (22.3.2-2)$$

式中  $P_z$ ——该土样深度处上覆土的饱和 ( $S_r$  为 85%) 自重压力 (kPa)，计算至 1kPa；

$g_n$ ——重力加速度 ( $=9.81\text{m/s}^2$ )；

$n$ ——该深度范围内土的分层数；

$H_i$ ——第  $i$  层土的厚度 (m)；

$\rho_{sri}$ ——第  $i$  层土的饱和密度 ( $\text{g/cm}^3$ )；

$\rho_{oi}$ ——第  $i$  层土的密度 ( $\text{g/cm}^3$ )；

$w_{oi}$ ——第  $i$  层土的含水率 (%)；

$\rho_{si}$ ——第  $i$  层土的颗粒密度 ( $\text{g/cm}^3$ )；

$\rho_{wi}$ ——4℃时水的密度 ( $\text{g/cm}^3$ )。

3 将试样保持在天然湿度下，施加土的饱和自重压力。当饱和自重压力小于 50kPa 时，可一次施加；当大于 50kPa 时，应分次施加。每次加压不应大于 50kPa，每次加压的时间间隔不应少于 15min。如此连续加压直至饱和自重压力  $P_z$  为止。加最后一次压力后，每隔 1h 测记百分表读数一次，直至试样变形稳定为止。稳定标准应符合本规程第 22.2.2 条第 6 款的规定。

4 浸水后湿陷变形应按本规程第 22.2.2 条第 5~6 款规定测定。

5 拆卸仪器及试样应符合本规程第 15.2.2 条第 11 款规定。

**22.3.3** 试验结果应按下式计算：

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (22.3.3)$$

式中  $\delta_{zs}$ ——自重湿陷系数，计算至 0.001；

$h_z$ ——保持天然的湿度和结构的试样，加压至土的饱和自重压力时，下沉稳定后的高度 (mm)；

$h_z'$ ——上述加压稳定后的试样，在浸水作用下，下沉稳定后的高度（mm）；

**22.3.4** 记录格式应符合本规程表 22.2.4 的要求。

## **22.4 湿陷起始压力的测定**

**22.4.1** 本试验应采用的仪器设备应符合本规程第 22.2.1 条规定。

**22.4.2** 本试验可采用单线法或双线法。

**22.4.3** 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本规程第 3.3.2 条和第 22.2.2 条第 1 款规定进行。单线法切取 5 个环刀试样；双线法切取 2 个环刀试样。试样安装应按本规程第 15.2.2 条第 2～3 款规定进行。

2 采用单线法试验时，5 个试样都在天然湿度下加压，分别加至不同的规定压力时，再按本规程第 22.2.2 条第 3～6 款规定进行试验，直至试样湿陷变形稳定为止。

3 采用双线法试验时，一个试样在天然湿度下分级加压，按本规程第 22.2.1 条第 3～6 款的步骤进行试验，直至最后一级压力下浸水湿陷变形稳定为止；另一个试样在天然湿度下施加第一级压力，变形稳定后浸水，至湿陷稳定，再继续分级加压，直至试样在各级压力下浸水变形稳定为止。

压力等级在 150kPa 以内，每级增量为 25～50kPa；150kPa 以上，每级增量为 50～100kPa。最后一级压力的大小，应符合本规程第 22.2.2 条第 4 款的规定。

4 试验结束后，按本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定拆卸仪器及试样。

**22.4.3** 试验结果应按下式计算及制图：

1 各级压力下的湿陷系数：

$$\delta_{sp} = \frac{h_{pn} - h_{pw}}{h_0} \quad (22.4.3)$$

式中  $\delta_{sp}$ ——各级压力下的湿陷系数；计算至 0.001；

$h_{pn}$ ——在各级压力下试样变形稳定后的高度（mm）；

$h_{pw}$ ——在各级压力下试样浸水变形稳定后的高度（mm）。

2 以湿陷系数为纵坐标，压力为横坐标，绘制湿陷系数与压力的关系曲线见图 22.4.3。取曲线上湿陷系数为 0.015 所对应的压力即为湿陷起始压力。

**22.4.4** 记录格式应符合表 22.4.4 的要求。

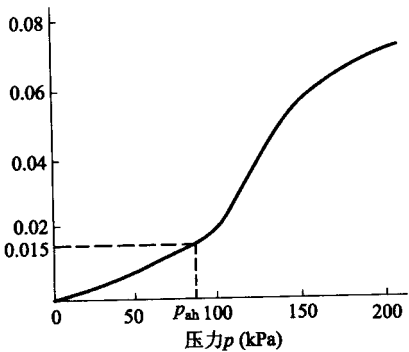


图 22.4.3 湿陷系数与压力关系曲线

表 22.4.4 黄土湿陷性试验记录 (湿陷起始压力)

试样编号：

试样初始高度：（mm）								试样初始高度：（mm）							
	天然状态 仪器号：							浸水状态 仪器号：							
经过 时间 (min)	50 (25) (kPa)	100 (50) (kPa)	150 (75) (kPa)	200 (100) (kPa)	250 (150) (kPa)	300 (200) (kPa)	浸 水	50 (25) (kPa)	浸 水	100 (50) (kPa)	150 (75) (kPa)	200 (100) (kPa)	250 (150) (kPa)	300 (200) (kPa)	
	百分表读数(mm)							百分表读数(mm)							
仪器变 形 量															
试样变 形 量															
湿陷 系数															

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

23 自由膨胀率试验

23.0.1 土的自由膨胀率是人工制备的松散干土，在水中增加的体积与原始体积之比，以百分数表示。

**23.0.2** 本试验是测定土在无结构情况下的自由膨胀特性，是膨胀土的初判指标。本试验适用于粒径小于 0.5mm 的土。

**23.0.3** 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 量筒：容积 50mL，分度值 1mL，容积和刻度应标定。
- 2 量土杯：容积 10mL，内径 20mm。
- 3 无颈漏斗：上口直径 50~60mm，下口直径 5mm。
- 4 搅拌器：由直杆和带孔圆板组成，圆板直径应小于量筒内径 2mm。
- 5 天平：称量 200g，分度值 0.01g。
- 6 其他：孔径 0.5mm 筛、取土勺、平口刮刀、漏斗支架、碾土工具等。

**23.0.4** 试验操作应按下列步骤进行：

1 用四分对角线法取风干试样约 100g，在橡皮板上碾散，剔除石子、结核后，过 0.5mm 筛，并在 105℃~110℃ 温度下烘干 8h，移入干燥器内冷却至室温。

2 按图 23.0.3 所示装置，将无颈漏斗放在支架上，漏斗下口对准量土杯中心并保持距离 10mm，用取土匙取适量试样倒入漏斗中，倒试样时取土匙应与漏斗壁接触并尽量靠近漏斗底部，边倒边用细铁丝轻轻搅动。当量土杯装满试样并溢出时，停止向漏斗倒试样，移开漏斗，轻轻地用平口刮刀刮去杯口多余土，称量土杯中试样质量，准确至 0.01g。另取一个量土杯，重复上述操作，称取第二个试样质量。两个试样质量的差值应不大于 0.1g。

3 向量筒内注水约 30mL，并加入 5%NaCl 溶液 5mL，将试样倒入量筒内，用搅拌器在量筒中自液面至筒底上下搅拌各 10 次，再用水冲洗搅拌器和量筒内壁至悬液达 50mL。

4 待悬液澄清后，每隔 2h 测记一次土面读数；估读至 0.1mL，直至两次读数差值小于 0.2mL，则认为膨胀稳定。若土面倾斜，读数可取中值。

**23.0.5** 试验结果应按下式计算：

$$F_s = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100 \quad (23.0.5)$$

式中  $F_s$ ——自由膨胀率（%），计算至 1%；

$V_1$ ——试样在水中膨胀稳定的体积（mL）；

$V_0$ ——试样原体积（mL）。

**23.0.6** 本试验应进行平行测定，允许平行差值：当  $F_s < 60\%$  时为 5%； $F_s \geq 60\%$

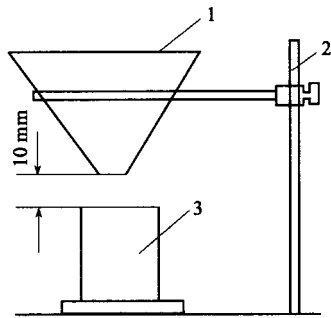


图 23.0.3 漏斗和量土杯位置

1—漏斗；2—支架；3—量土杯

时为 8%。取其算术平均值。

23.0.7 试验记录格式应符合表 23.0.7 的要求。

表 23.0.7 自由膨胀率试验记录

试样 编号	干试样 质量	试样原 始体积	量筒 编号	量筒 校正值	不同时间(h) 体积读数(mL)					体积 增量	自由 膨胀率	平均值
					2	4	6	8	10			
	(g)	(mL)		(mL)	(mL)					(mL)	(%)	(%)

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

## 24 膨胀率试验

### 24.1 一般规定

24.1.1 膨胀率是试样在有侧限条件下浸水后的单向膨胀量与试样原始高度之



比值。

24.1.2 膨胀率试验可分为无荷载膨胀率试验和有荷载膨胀率试验。

24.1.3 本试验适用于测定原状土和扰动土击实试样的膨胀率。

## 24.2 无荷载膨胀率试验

24.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 膨胀仪：见图 24.2.1；也可用固结仪，见本规程图 15.2.1。

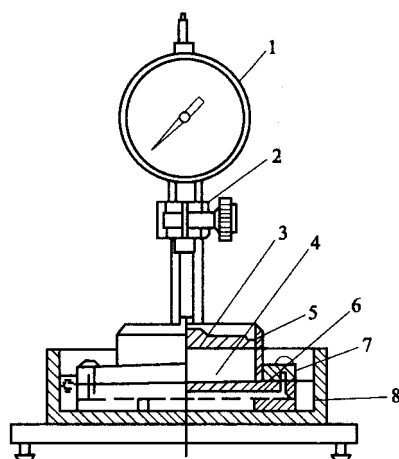


图 24.2.1 膨胀仪示意

1—百分表；2—表架；3—有孔板；4—试样；

5—环刀；6—透水板；7—压板；8—水盒

2 环刀：内径 61.8mm，高 20mm（另配一个与环刀内径相同高 10mm 的接环）。

3 天平：称量 500g，分度值 0.01g。

4 其他：切土刀、吸水球等。

24.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 在环刀内壁涂一薄层凡士林，切取原状土试样或所需状态的击实试样，修平两端。称环刀和土的总质量，准确至 0.1g，并测定试验前的含水率、密度及计算孔隙比。

2 将烘干冷却的透水板埋置于切削下的余土内 1h，取出刷尽后，放入仪器中。将环刀套上接环，钝口端用压环固定在底座上，使试样底面与透水板顶面密

贴，然后一起放入水盒中。将有孔活塞板轻轻放在试样的顶面，对准活塞中心，安装百分表，并记下初读数。

3 在水盒中注入纯水，使水自下而上进入试样，并保持水面高出试样顶面约5mm。注水后，每隔 2h 测记百分表读数一次，直至两次读数之差值不超过 0.01mm 为止。

4 试验完毕后，吸去容器中的水。从环刀内推出试样，并称其质量。将试样烘干后再称其干质量，计算膨胀后的含水率、密度和孔隙比。

24.2.3 试验结果应按下式计算：

$$V_H = \frac{R_t - R_0}{H_0} \times 100$$

(24.2.3)

式中  $V_H$ ——时间  $t$  时的无荷载膨胀率（%），计算至 0.1%；

$R_t$ ——时间  $t$  时的百分表读数（mm）；

$R_0$ ——试验开始时百分表读数（mm）；

$H_0$ ——试验原始高度（mm）。

24.2.4 记录格式应符合表 24.2.4 的要求。

表 24.2.4 膨胀率试验记录

试样编号 土颗粒密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		压力(kPa)		仪器号 环刀号	
项目	内 容	试验前		试验后	
含 水 率	湿试样质量(g)	(1)		(1)	
	干试样质量(g)	(2)		(2)	
	含水率(%)	(3) = [(1)/(2) - 1]100		(3) = [(1)/(2) - 1]100	
密 度	环刀加湿试样质量(g)	(4)		(4)	
	环刀质量(g)	(5)		(5)	
	湿试样质量(g)	(6) = (4) - (5)		(6) = (4) - (5)	
	试样体积(cm <sup>3</sup> )	(7) $V_0$		(7) $V_0(1 + V_h)$	
	密度(g/cm <sup>3</sup> )	(8) = (6)/(7)		(8) = (6)/(7)	
干密度(g/cm <sup>3</sup> )		(9) = (8)/[1 + 0.01(3)]		(9) = (8)/[1 + 0.01(3)]	

膨胀率测定							
测定时间			经过时间			量表读数 $R$	膨胀率 $V_h(V_{HP})$
d	h	min	d	h	min	(mm)	(%)

复核
 

\_\_\_\_\_
 年
 \_\_\_\_\_
 月
 \_\_\_\_\_
 日

 试验
 

\_\_\_\_\_
 年
 \_\_\_\_\_
 月
 \_\_\_\_\_
 日

### 24.3 有荷载膨胀率试验

#### 24.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 固结仪：见本规程图 15.2.1，另备一个与环刀内径相同的接环，高 10mm。试验前，应按附录 D 对固结仪在不同压力下进行仪器变形量校正。

2 其他与本规程第 24.2.1 条第 2～4 款相同。

#### 24.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 在环刀内壁涂一薄层凡士林，按第 5.2.2 条要求切取有代表性的试样，称环刀和试样的总质量，准确至 0.1g。并测定试验前的含水率、密度及计算孔隙比。

2 将试样放入容器内，放上接环透水石和盖板，安好百分表，施加 1kPa 的预压力，使仪器各部件之间接触良好。将百分表指针调整到全量程的中值整数，记下初读数，卸下预压力。

3 按要求分级连续施加压力，直至达到要求的压力为止。如要求的压力大于或等于 150kPa 时，每级增量应为 50kPa。如要求的压力小于 150kPa 时，每级增量应为 25kPa。每级加压的间隔时间为 10min。加压时应避免冲击。当施加最后一级压力后，每小时变形小于 0.01mm 即可认为变形已稳定。

4 随后向容器内注入纯水，使水自下而上进入试样，并保持水面高出试样顶面约 5mm。

5 浸水后每隔 2h 测记百分表读数一次，直至两次读数差值不超过 0.01mm 为止。

6 试验完毕后，吸去容器中的水，卸除荷载，取出试样称量，烘干冷却后再称量，计算膨胀后的含水率、密度和孔隙比。

24.3.3 试验结果应按下式计算：

$$V_{HP} = \frac{R_t + R_p - R_0}{H_0} \times 100 \tag{24.3.3}$$

式中  $V_{HP}$ ——压力  $P$  下的膨胀率（%），计算至 0.1%；

$R_p$ ——压力  $P$  下的仪器压缩变形量（mm）。

24.3.4 记录格式应符合表 24.2.4 的要求。

25 膨胀力试验

25.0.1 土的膨胀力是试样在体积不变的条件下，浸水膨胀后所产生的内应力。

25.0.2 本试验应采用加荷平衡法，适用于原状土和击实土的膨胀力测定。

25.0.3 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条的要求。

25.0.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 按本规程第 15.2.2 条第 2 款将试样放入压缩容器内，并施加 1kPa 的预压力，使试样和仪器上下各部件紧密接触。安装百分表，并调整到零位，测记初读数后卸去预压力。

2 自下而上向容器内注入纯水，并保持水面高出试样顶部 5mm。

3 当百分表开始顺时针方向转动时，表明试样开始膨胀，应立即施加适当的平衡荷载，使百分表指针重新回到初读数。

4 当所施加的荷载足以使仪器产生变形时，在施加下一级平衡荷载时，百分表指针不仅应回到原位，还应逆时针转动一个相当于该荷载下仪器变形量的数值。

5 试样在某级荷载下间隔 2h 百分表读数不再变化，表示试样在该荷载下已达到稳定。

6 试验结束后吸去容器内的水，取出试样并称其质量及测定试验后的含水率、密度，计算孔隙比。

25.0.5 试验结果应按下式计算：

$$P_p = \frac{W \cdot r}{A} \times 10 \tag{25.0.5}$$

式中  $P_p$ ——膨胀力（kPa），计算至 1kPa；

$W$ ——施加在试样上的总平衡荷载（N）；

$A$ ——试样面积（cm<sup>2</sup>）；

$r$ ——固结仪的杠杆比。

25.0.6 记录格式应符合表 25.0.6 的要求。

表 25.0.6 膨胀力试验记录

试样编号			仪器号	杠杆比( $r$ )	
土颗粒密度 $\rho_s$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )			试样面积( $\text{cm}^2$ )	环刀号	
项目	内 容			试验前	试验后
含 水 率	湿试样质量( $\text{g}$ )		(1)		
	干试样质量( $\text{g}$ )		(2)		
	含水率( $\%$ )		$(3) = \left[ \frac{(1)}{(2)} - 1 \right] \times 100$		
密 度	环刀和湿试样总质量( $\text{g}$ )		(4)		
	环刀质量( $\text{g}$ )		(5)		
	湿试样质量( $\text{g}$ )		$(6) = (4) - (5)$		
	试样体积( $\text{cm}^3$ )		(7)		
	密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		$(8) = (6)/(7)$		
干密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )			$(9) = (8)/[1 + 0.01(3)]$		
孔隙比(1)			$(10) = [\rho_s/(9)] - 1$		
膨胀力测定					
测定时间			总平衡荷载	仪器变形量	膨胀力
d	h	min	(N)	(mm)	(kPa)

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

## 26 收缩试验

26.0.1 土的收缩是原状土在水分蒸发过程中体积减小的现象。

26.0.2 本试验适用于原状土和击实黏性土。

26.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 收缩仪：如图 26.0.3 所示。多孔板上的孔的面积应大于总面积的 50%。
- 2 环刀：直径 61.8mm，高度 20mm。
- 3 百分表：量程 10mm，分度值 0.01mm。
- 4 天平：称量 500g，分度值 0.1g。
- 5 其他：烘箱、制样器具及蜡封工具等。

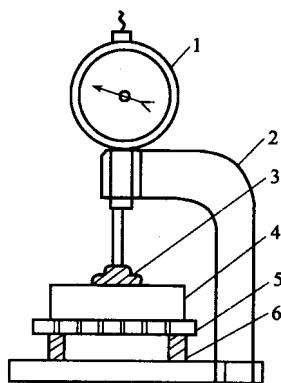


图 26.0.3 收缩仪

- 1—百分表；2—支架；3—测板；  
4—试样；5—多孔板；6—垫块

26.0.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 收缩试验的原状土试样应按本规程第 3.3.1 条和第 3.3.2 条的规定进行制备，击实土试样按本规程第 3.2.3 条的规定制备。

2 将制好的试样置于收缩仪上，放上测板，安装百分表，记下初读数，在  $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  下进行风干。

3 试验初期，根据室内温度和收缩速度，每隔 1~4h 测记百分表读数，并称整套装置和试样质量，准确至 0.1g。2d 后，每隔 6~24h 测记百分表读数并称质量，直至两次百分表读数基本不变。称质量时应保持百分表读数不变。在图

26.0.5 所示的收缩曲线的第 1 阶段内应取得不少于 4 个数据。

4 试验结束后取出试样,在  $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$  温度下烘干,称干土质量;准确到 0.1g。

5 按本规程第 5.3 节蜡封法测定烘干试样体积。

**26.0.5 试验结果应按下列公式计算及绘图:**

1 试样在不同时间的含水率:

$$\tau w_i = \left( \frac{m_i}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (26.0.5-1)$$

式中  $\tau w_i$ ——某时刻试样的含水率 ( $\%$ ),计算至 0.01;

$m_i$ ——某时刻试样的质量 (g);

$m_d$ ——试样烘干后的质量 (g)。

2 线缩率:

$$e_{st} = \frac{R_t - R_0}{H_0} \times 100 \quad (26.0.5-2)$$

式中  $e_{st}$ ——试样在某时刻的线缩率 ( $\%$ );

$R_t$ ——某时刻的百分表读数 (0.01mm);

$R_0$ ——百分表初始读数 (0.01mm);

$H_0$ ——试样初始高度 (mm)。

3 体缩率:

$$e_v = \frac{V_0 - V_d}{V_0} \times 100 \quad (26.0.5-3)$$

式中  $e_v$ ——体缩率 ( $\%$ );

$V_0$ ——试样初始体积 ( $\text{cm}^3$ );

$V_d$ ——试样烘干后的体积 ( $\text{cm}^3$ )。

4 收缩系数:

$$C_s = \frac{\Delta e_{si}}{\Delta \tau w} \quad (26.0.5-4)$$

式中  $C_s$ ——竖向收缩系数;

$\Delta e_{si}$ ——与  $\Delta \tau w$  相对应的两点线缩率之差 ( $\%$ );

$\Delta \tau w$ ——收缩曲线上第 I 阶段两点的含水率之差 ( $\%$ )。

5 以线缩率为纵坐标,含水率为横坐标,绘制关系曲线,如图 26.0.5。延长

第Ⅰ、Ⅲ阶段的直线段至相交，两线交点对应的横坐标  $w_s$  即为原状土的缩限。

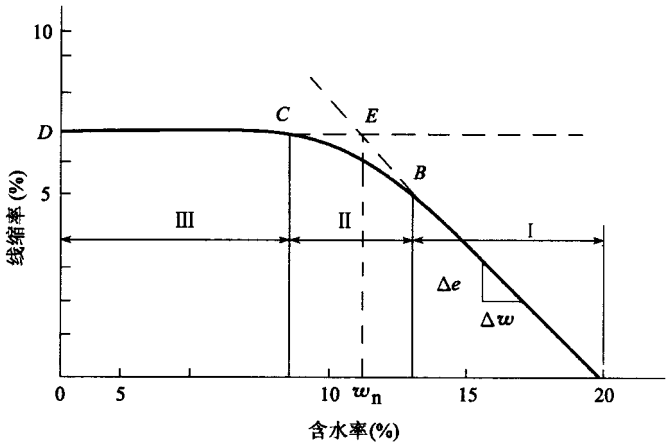


图 26.0.5 线缩率与含水率关系曲线

26.0.6 记录格式应符合表 26.0.6 的要求。

表 26.0.6 收缩试验记录

试样编号：\_\_\_\_\_ 试样说明：\_\_\_\_\_

测定时间			百分表读数	单向收缩	线缩率	试样质量	水质量	含水率	备注
d	h	min	(0.01mm)	(mm)	(%)	(g)	(g)	(%)	
体缩(%)			收缩系数		缩限(%)				

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日                      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日



## 27 冻土总含水率试验

### 27.1 一般规定

27.1.1 冻土总含水率是冻土中所含冰和未冻水的总质量与干土质量之比，即冻土试样在  $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$  下烘至恒量时所失去的水的质量与烘干土质量的比值，以百分数表示。

27.1.2 本试验的标准方法应为烘干法，在现场或需要快速测定含水率时，对层（网）状冰构造的黏性土或砂类土冻土，可采用联合测定法。

### 27.2 烘干法

27.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 5000g，分度值 1g。
- 2 其余仪器设备应符合本规程第 4.2.1 条的要求。

27.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 对整体状冰构造的黏性土或砂类土冻土，含水率的试验步骤应按本规程第 4.2.2 条规定进行，但每个试样的质量不得少于 50g。

2 对薄层（网）状及中等层（网）状冰构造的冻土，应采用平均试样法测定含水率：

1) 将土样用四分对角法取出 1000~2000g（视冻土构造均匀程度而定，较均匀的少取，反之应多取），进行称量，准确至 0.1g，放入搪瓷盘中使其融化。

2) 将融化的试样调拌成均匀糊状（土太湿时，将多余水分澄清后可用吸水球和滤纸吸出，或让其自然蒸发；土太干时，可适当加水），进行称量，准确至 0.1g。

3) 从糊状土中取样测定含水率，其试验步骤可按本规程第 4.2 节进行。

27.2.3 试验结果应按下列公式计算：

- 1 整体状冰构造的冻土总含水率计算与本规程第 4.2.3 条公式相同。
- 2 层（网）状冰构造冻土总含水率，应按下式计算：

$$w_A = \left[ \frac{m_1}{m_2} (1 + 0.01w_n) - 1 \right] \times 100 \quad (27.2.3)$$

式中  $w_A$ ——冻土总含水率（%），计算至 0.1%；

$m_1$ ——冻土试样质量（g）；

$m_2$ ——调成糊状的试样质量 (g)；

$w_n$ ——糊状试样的含水率 (％)。

27.2.4 试验允许差应符合下列规定：

整体状冰构造冻土的总含水率应进行平行测定，其平行差值应符合表 27.2.4 的规定；层（网）状冰构造冻土的含水率平行差值不应大于 1％。

表 27.2.4 冻土总含水率测定平行差值

含水率(％)	小于 10	10～30	大于 30
平行差值(％)	1	2	3

27.2.5 整体状冰构造冻土的总含水率记录格式应同本规程表 4.2.5。层（网）状冰构造的冻土总含水率记录格式应符合表 27.2.5 的要求。

27.3 联合测定法

27.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 排液筒：见图 27.3.1。
- 2 台秤：称量 10kg，分度值 1g。
- 3 量筒：容积 1000mL，分度值 10mL。

表 27.2.5 层（网）状冰构造的冻土总含水率试验记录

工程名称：

试坑（钻孔）号：

试样 编号	冻土 试样 质量	调成糊 状的试 样质量	糊状试样的含水率					冻土总含水率 $w_A$ (％)
			盒  号	湿试 样质 量	干试 样质 量	含 水 率	平 均 值	
				$m_n$	$m_d$	$w_n$	$w_n$	
				(g)	(g)	(％)	(％)	
								$w_A = \left[ \frac{m_1}{m_2} (1 + 0.01w_n) - 1 \right] \times 100$

### 27.3.2 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 取约 1000~1500g 的冻土试样, 称其质量。
- 2 将接近 0℃ 的清水倒入排液筒内, 置于台秤上, 松开止水夹, 让多余的水流出。然后拧紧止水夹, 称筒和水的总质量。
- 3 将试样用细线拴住缓缓放入排液筒中, 打开止水夹, 使排液筒中的水流入量筒内。水流停止后, 拧紧止水夹, 立即称排液筒、水和试样的总质量。同时测读量筒中水的体积, 用以校核冻土试样的体积。
- 4 使冻土试样在排液筒内完全融化并呈松散状态, 筒中水面下降后应重新加水至高出虹吸管顶, 待水澄清后松开止水夹排水, 当水流停止后拧紧止水夹, 并称排液筒、水和土颗粒的总质量。

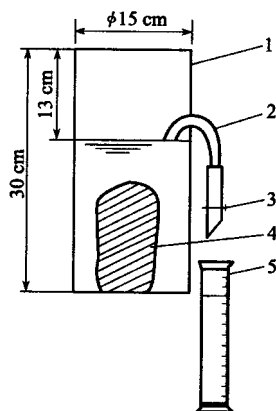


图 27.3.1 排液筒装置示意

- 1—排液筒; 2—虹吸管;  
3—止水夹; 4—冻土试样;  
5—量筒

- 5 本试验称量应准确至 1g。

### 27.3.3 试验结果应按下列公式计算:

- 1 冻土密度:

$$\rho_t = \frac{m}{m + m_1 - m_2} \cdot \rho_w \quad (27.3.3-1)$$

式中  $\rho_t$ ——冻土密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 计算至  $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$m$ ——冻土试样质量 (g);

$m_1$ ——筒和水的总质量 (g);

$m_2$ ——筒、水和试样的总质量 (g);

$\rho_w$ ——水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

- 2 冻土总含水率:

$$\omega_A = \left[ \frac{m \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)}{(m_3 - m_1) \frac{\rho_s}{\rho_w}} - 1 \right] \times 100 \quad (27.3.3-2)$$

式中  $\omega_A$ ——冻土总含水率 (%), 计算至  $0.1\%$ ;

$m_3$ ——筒、水和土颗粒的总质量 (g);

$\rho_s$ ——土颗粒密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 可实测也可采用经验值。

27.3.4 记录格式应符合表 27.3.4 的要求。

表 27.3.4 冻土密度和总含水率联合测定记录

工程名称：

试坑(钻孔)号：

试样 编号	冻土 试样 质量	筒和 水的总 质量	筒、水和 试样总 质量	筒、水和 土粒的 总质量	土颗 粒密 度	冻土 体积	冻土 密度	冻土总含水率
	$m$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_s$		$\rho_t$	$w_A$
	(g)	(g)	(g)	(g)	g/cm <sup>3</sup>		(g/cm <sup>3</sup> )	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
						$\frac{(1)+(2)-(3)}{\rho_w}$	$\frac{(1)}{(6)}$	$\left\{ \frac{(1) \cdot [(5)-1]}{[(4)-(2)] \cdot (5)} - 1 \right\} \times 100$

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

28 冻土密度试验

28.1 一般规定

28.1.1 冻土密度是冻土的单位体积质量。

28.1.2 本试验应根据冻土的特点和试验条件选用液体称量法、联合测定法、充砂法和环刀法。

- 1 液体称量法适用于表面无显著孔隙的冻土。
- 2 联合测定法适用于层（网）状冰构造的黏性土或砂类土。
- 3 充砂法适用于表面有明显孔隙的冻土。
- 4 环刀法适用于土温高于-3℃的黏性土和砂类土。

28.1.3 冻土密度试验宜在负温环境下进行。无负温环境时，应采取保温措施和快速测定。在试验过程中，冻土表面不得发生融化。

28.2 液体称量法

28.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 1000g，分度值 0.1g。
- 2 液体密度计：分度值为 0.001g/cm<sup>3</sup>。

- 3 温度计：测量范围 $-30^{\circ}\text{C}\sim+20^{\circ}\text{C}$ ，分度值为 $0.1^{\circ}\text{C}$ 。
- 4 量筒：容积 $1000\text{mL}$ 。
- 5 盛液筒：容积 $1000\sim2000\text{mL}$ 。
- 6 广口保温瓶：容积约 $9000\text{mL}$ 。
- 7 试验用液体：负温煤油或 $0^{\circ}\text{C}$ 水。

**28.2.2 试验操作应按下列步骤进行：**

1 测定负温下的煤油密度：在广口保温瓶中装入冰和水若干，然后加入一定比例的盐冷却剂（见表 28.2.2），搅拌均匀后，将盛煤油的量筒放入此保温瓶内的冰、水混合物中，预冷至煤油温度稳定后，测定其密度，准确至 $0.001\text{g}/\text{cm}^3$ ；同时测记温度，准确至 $0.1^{\circ}\text{C}$ 。如此调整 $4\sim5$ 个不同的负温值，测定其相应的密度值，并绘制煤油的密度与温度关系曲线（如图 28.2.2）。

**表 28.2.2 盐冷却剂**

盐的名称	100g 水( $10^{\circ}\text{C}\sim15^{\circ}\text{C}$ )中盐的克数 (g)	混合后达到最低温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	100 克雪(或细冰)中盐的克数 (g)	混合后达到最低温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\text{NH}_4\text{Cl}$	30	$-5.1$	25	$-15.8$
$\text{NaNO}_3$	75	$-5.3$	59	$-18.5$
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	60	$-13.6$	60	$-17.3$
$\text{CaCl}_2\cdot6\text{H}_2\text{O}$	250	$-12.4$	82	$-21.5$
			125	$-40.3$
			143	$-55$
$\text{NaCl}$			33	$-21.2$
$\text{KCNS}$	150	$-23.7$		
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$			62	$-19$

- 2 切取冻土试样 $300\sim1000\text{g}$ ，系于细线上称其质量，准确至 $0.1\text{g}$ 。
- 3 将预先冷却至接近试样温度的煤油，装入盛液筒内 $2/3$ 高度处，用温度计测煤油温度，准确至 $0.1^{\circ}\text{C}$ 。
- 4 如用浮称天平时，可将试样吊在天平一端，使试样全部浸没在煤油中，称试样在煤油中的质量，准确至 $0.01\text{g}$ ；如用电子天平或上皿天平时，将盛液筒放在天平的称量盘上，将试样吊在固定的支架上浸入煤油中（勿与盛液筒底或壁接触），称其质量，准确至 $0.01\text{g}$ 。

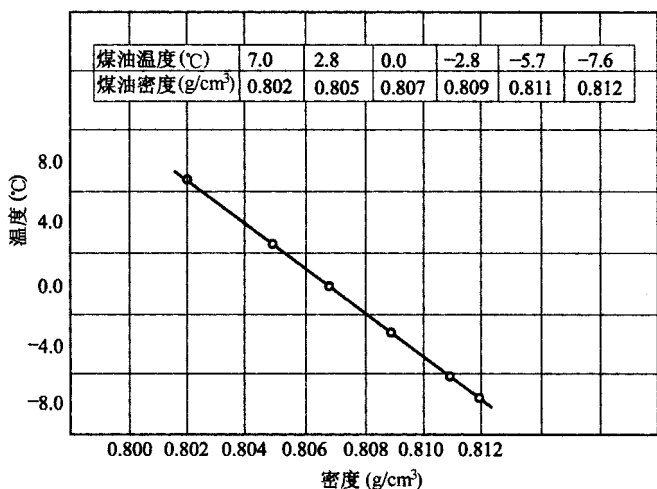


图 28.2.2 煤油密度与温度关系曲线

5 取出试样，削去表层有煤油的部分，并按本规程第 27.2.2 条的规定测定冻土总含水率。

28.2.3 试验结果应按下列公式计算：

1 冻土密度：

$$\rho_t = \frac{m}{V} \quad (28.2.3-1)$$

2 冻土试样体积：

采用浮称天平

$$V = \frac{m - m_1}{\rho_{mT}} \quad (28.2.3-2)$$

采用电子天平

$$V = \frac{m_2}{\rho_{mT}} \quad (28.2.3-3)$$

式中  $\rho_t$ ——冻土密度 (g/cm³)，计算至 0.01g/cm³；

$V$ ——冻土试样体积 (cm³)；

$m$ ——冻土试样质量 (g)；

$m_1$ ——用浮称天平测得的试样在煤油中的质量 (g)；

$m_2$ ——用电子天平测得的试样排开液体的质量 (g)；

$\rho_{mT}$ ——试验温度下煤油的密度 (g/cm³)，可由图 28.2.2 实测煤油密度与温

- #### 28.4.2 试验操作应按下列步骤进行:

落速度不变。灌砂不得敲击或振动容器。当容器充满砂后，移开漏斗，用直尺刮平砂面，使与容器上缘齐平。称容器和量砂的总质量，准确至 0.1g。

2) 量砂密度按下式计算：

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (28.4.2)$$

式中  $\rho_n$ ——量砂密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$m_1$ ——金属容器质量 (g)；

$m_2$ ——容器和砂的总质量 (g)；

$V_c$ ——金属容器的容积 (cm<sup>3</sup>)。

3) 按上述方法重复进行 3~4 次，当量砂密度差值小于 0.02g/cm<sup>3</sup> 时，取算术平均值为量砂密度。

2 切取冻土试样，使其直径或边长比金属容器的直径约小 40~60mm，并将一面削平，称冻土试样质量，准确至 0.1g。然后将试样削平的一面朝下放入容器内，使试样面与容器底面密贴。

3 将装有试样的金属容器置于清洁的瓷盘内，按本条第 1 款步骤将量砂充填于试样周围（量砂的温度应接近冻土试样温度）。容器充满量砂后，刮平砂面，称容器、试样和量砂的总质量，准确至 0.1g。

**28.4.3 试验结果应按下式计算：**

$$\rho_i = \frac{m}{V} \quad (28.4.3-1)$$

$$V = V_c - \frac{m_3 - m_1 - m}{\rho_n} \quad (28.4.3-2)$$

式中  $m_3$ ——容器、试样和量砂的总质量 (g)。

**28.4.4 记录格式应符合表 28.4.4 的要求。**

## **28.5 环刀法**

**28.5.1 本试验应采用下列仪器设备：**

- 1 天平：称量 1000g，分度值 0.1g。
- 2 环刀：容积应大于或等于 500cm<sup>3</sup>。
- 3 其他：切土器、钢丝锯等。

**28.5.2 本试验应在负温环境中进行。其试验步骤、结果计算、记录格式等应按本规程第 5.2 节进行。**



表 28.4.4 充砂法冻土密度试验记录

工程名称 \_\_\_\_\_ 试坑号 \_\_\_\_\_

试样编号	金属容器质量	试样质量	量砂的总质量 容器、试样和	量砂质量	量砂密度	容器容积	试样体积	冻土密度	平均密度	量砂密度		
										量砂质量	容器容积	量砂密度
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	1(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(A)	(B)	(C)
				(4) —(2) —(3)			(7)— (5) (6)	(3) (8)				(A) (B)

复核 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日                      试验 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

29 改良土试验

29.1 一般规定

29.1.1 改良土是在土中掺入适量的水泥、石灰、粉煤灰等掺合料或其他固化剂，按最优含水率加水拌和，经压实及养生后，抗压强度满足工程要求的混合料。

29.1.2 本试验适用于土粒径小于 40mm 的水泥改良土、石灰改良土、水泥石灰改良土，水泥粉煤灰改良土、石灰粉煤灰改良土、水泥石灰粉煤灰改良土等各种混合料的击实、无测限抗压强度和水泥石灰的剂量试验。

29.1.3 本试验取样，可用下列方法：

1 四分法：将样品放在清洁、平整、坚硬的平面上，加清水使样品潮湿，用铲翻动使成圆锥体的料堆，再用铲翻动成一个新料堆，如此重复三次。形成新料堆时，每铲翻料都要放在锥顶，应使滑动边部的样品尽可能均匀，并保持锥体中心不移动。自最后形成的一料堆顶部用平头铲反复交错垂直插入使锥体顶部变平，每次

插入提起铲时不要带有样品，最后将料堆等分成四份，将对角的两分铲到一边，剩余两份重复上述拌和方法缩分到达要求的样品数量为止。

2 分料器法：如果样品中含有小于 5mm 颗粒的细料，材料应是表面干燥的。将材料充分拌和后通过分料器，保留一部分，另一部分再通过分料器，如此重复进行，直至达到要求的样品数量为止。

**29.1.4** 本试验含水率测定，应根据试样颗粒大小分别称取：细粒土约 50g，准确至 0.01g，粗粒土约 500g，准确至 0.2g，碎石类土约 2000g，准确至 1g。再按本规程第 4 章第 4.2 节进行测定。现场快速测定可按本规程第 4 章第 4.4 节进行测定。

**29.1.5** 按预定干密度制成的各种改良土作无侧限抗压强度的试件，采用高径比为 1 的圆柱体。

## **29.2 重型击实试验**

**29.2.1** 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 击实仪：尺寸规格应符合本规程表 20.0.3 的规定。
- 2 天平、台称、标准筛等应符合本规程第 20.0.5 条的规定。
- 3 量筒：50mL、100mL、500mL。
- 4 其他：脱模器、刮平尺、拌和土用工具、切土刀、瓷盘、称量盒、烘箱。

**29.2.2** 试样准备应符合下列规定：

1 改良土的试样按本章第 29.1.3 条取风干试样，如有结块、土团应用木锤捣碎（以不破坏土的单个颗粒为准），然后过筛。在现场将此过筛的试样用四分法缩分至最后取出细粒土不少于 30kg，粗粒土不少于 35kg，碎石类土不少于 40kg。

2 试样全部通过 5mm 筛的细粒土，可选用重 1 法击实；当试样中有大于 5mm 的颗粒时，应过 20mm 筛，若全部通过，可选用重 2 法击实；当试样中有大于 20mm 的颗粒时，应过 40mm 筛，选用重 3 法击实。每次筛分后应记录筛上颗粒粒径及占总量百分率。

3 在击实试验的前一天，应按烘干法分别测定土、石灰、粉煤灰等试样的风干含水率，水泥含水率应为零。

4 改良土混合料应根据设计文件要求的配合比和实测各种风干试样的含水率进行配制。

**29.2.3** 试验操作应按下列步骤进行：

1 将准备好的风干试样分成 5~6 份。每份试样的干质量按颗粒大小称取：细粒土约 4.5kg，粗粒土约 5.5kg，碎石类土约 5.5kg。

2 每份试样按预定的不同含水率，依次使相差约 1%~2%，其中至少有两份小于和两份大于最优含水率。最优含水率可参照土的塑限按如下进行估计：

1) 各份试样含水率控制：对砂砾土在最优含水率附近取相差 1%，其余 2%；对细粒土取相差 2%，但对黏土取 3%。

2) 最优含水率的估计，对于细粒土一般最优含水率较土的塑限约小 3%~10%（砂性土接近 3%，黏性土约 6%~10%）。对于天然砂砾土，级配集料等的最优含水率与集料中细粒土含量和塑性指数有关，细土少的， $I_p$  为零的未筛分碎石的最优含水率接近 5%；细土偏多， $I_p$  较大的砂砾土一般在 10%左右。水泥改良土的最优含水率与土接近，石灰改良土的最优含水率较土约大 1%~3%。

3 将每份风干改良土试样分别平铺于金属盘内，按式 (29.2.3) 计算各份试样预定含水率应加的水量。将应加的水量均匀喷洒在试样上，用拌和工具充分拌和使达到均匀状态。当试样是石灰改良土和水泥、石灰综合改良土，可先将石灰和试样一起拌匀，水泥应在临击实试验前拌和，但水泥应加的水量在计算时应予计入。然后装入密封器或塑料袋中浸润备用。

$$m_w = \left( \frac{m_0}{1+0.01w_0} + \frac{m_c}{1+0.01w_c} \right) \times 0.01w' - \left( \frac{m_0 \times 0.01w_0}{1+0.01w_0} + \frac{m_c \times 0.01w_c}{1+0.01w_c} \right) \quad (29.2.3)$$

式中  $m_w$ ——混合料中应加的水量 (g)；

$m_0$ ——混合料中风干土或集料的质量 (g)；

$m_c$ ——混合料中风干石灰（或水泥）的质量 (g)；

$w_0$ ——混合料中土或集料的风干含水率 (%)；

$w_c$ ——混合料中石灰（或水泥）风干含水率 (%)；

$w'$ ——混合料要求达到的含水率 (%)。

4 浸润时间为生石灰不少于 24h；黏性土 12~24h；粉性土 6~8h；砂性土、砂砾土、红土砂砾、级配砂砾等约 4h；含土很少的未筛分碎石、砂砾和砂约 2h。

5 按配比所需水泥用量加入浸润后的试样中，用小铲或其他拌和工具充分拌和均匀后，在 1h 内完成击实试验全过程，超过 1h 的试样应予作废（石灰和石灰粉

煤灰改良土除外)。

6 将击实仪平稳放置于刚性基础上,使击实筒与底座联接好,装好护筒,在击实筒内壁均匀涂上薄层润滑油,取制备好的试样(重1、重2分五层击实,每层细粒土约0.9kg,粗粒土约1.1kg;重1、重2、重3分三层击实,每层约1.8kg)倒入击实筒内(其量应分别略高于筒高的1/5和1/3),平整表面,稍加压实后,按所需击数(见本规程表20.0.3的规定)进行第1层击实(击锤4.5kg,落距457mm,锤迹应均匀分布于试样面)。第1层击实后应检查该层高度是否合适,以便调整下一层试样用量。用刮刀将击实面拉毛,然后重复第1层的做法,进行其余各层试样的击实。最后一层试样击实后,试样超出试筒顶的高度应小于6mm(超出高度过大的试件应作废)。

7 卸下护筒,用直刮刀修平试筒顶部的试样,拆除底板,再修平试样底部,擦净试筒外壁,称筒和试样的总质量,准确至5g。

8 用推土器将试样从试筒内推出,从上到下取2个代表性试样,按本章第29.1.4条的规定测定含水率。

本试验凡已用过的试样,均不得重复使用。

29.2.4 试验结果应按下列公式计算和绘图:

1 改良土密度和干密度:

$$\rho_g = \frac{m_2 - m_1}{V} \tag{29.2.4-1}$$

$$\rho_{dg} = \frac{\rho}{1 + 0.01w_g} \tag{29.2.4-2}$$

式中  $\rho_g$ ——改良土的密度 (g/cm<sup>3</sup>), 计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>;  
 $\rho_{dg}$ ——改良土的干密度 (g/cm<sup>3</sup>), 计算至 0.01g/cm<sup>3</sup>;  
 $m_1$ ——击实筒的质量 (g);  
 $m_2$ ——击实筒与试样总质量 (g);  
 $V$ ——击实筒的容积 (cm<sup>3</sup>);  
 $w_g$ ——改良土试样的含水率 (%);

2 以干密度为纵坐标,含水率为横坐标,在直角坐标纸上绘制干密度与含水率的关系曲线,曲线上峰值点的纵横坐标分别表示该改良土的最大干密度 ( $\rho_{g,dmax}$ ) 和最优含水率 ( $w_{g,opt}$ )。 $\rho_{g,dmax}$  准确至 0.01g/cm<sup>3</sup>。 $w_{g,opt}$  大于 12% 时,准确至 1%;

在 6%~12%时，准确至 0.5%；小于 6%时准确至 0.2%。

当曲线不能给出正确的峰值点时，应进行补点。

3 超尺寸颗粒的校正：

试样中大于规定最大粒径的超尺寸颗粒的含量为 5%~30%时，应按下列公式校正。超尺寸颗粒含量小于 5%的可不进行校正。

$$\rho'_{g, \text{dmax}} = \rho_{g, \text{dmax}} (1 - 0.01P) + 0.9 \times 0.01P\rho_a \tag{29.2.4-3}$$

$$w'_{g, \text{opt}} = w_{g, \text{opt}} (1 - 0.01P) + 0.01Pw_x \tag{29.2.4-4}$$

式中  $\rho'_{g, \text{max}}$ ——校正后最大干密度  $\text{g}/\text{cm}^3$ ，计算至  $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ；  
 $w'_{g, \text{opt}}$ ——校正后的最优含水率（%），计算精度同本条第 2 款；  
 $\rho_{s, \text{dmax}}$ ——试验所得最大干密度  $(\text{g}/\text{cm}^3)$ ；  
 $w_{g, \text{opt}}$ ——试验所得最优含水率（%）；  
 $P$ ——试样中超尺寸颗粒的百分率（%）；  
 $\rho_a$ ——超尺寸颗粒的毛体积密度  $(\text{g}/\text{cm}^3)$ ；  
 $w_x$ ——超尺寸颗粒的吸着含水率（%）。

$\rho_a$ 、 $w_x$  按本规程第 6.3.3 条或第 6.4.3 条的第 2、3 款计算。

29.2.5 本试验应进行平行试验，允许平行差值应符合表 29.2.5 的规定，取算术平均值。

表 29.2.5 平行试验允许差值

土 类	最大干密度允许平行差值	最优含水率允许平行差值
改良细粒土	不应超过 0.05g/cm <sup>3</sup>	$w_{g,opt}<10\%$ 不应超过 0.5% $w_{g,opt}>10\%$ 不应超过 1.0%
改良粗粒土	不应超过 0.08g/cm <sup>3</sup>	
改良碎石类土		

29.2.6 记录格式应符合表 29.2.6 的要求。

29.3 无侧限抗压强度试验

29.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 圆孔筛：孔径为 10mm、20mm、40mm。
- 2 试模的尺寸（直径×高）：细粒土 50mm×50mm、粗粒土 100mm×100mm、碎石类土 150mm×150mm。
- 3 脱模器。
- 4 液压千斤顶：0.2~1.0MN。

表 29.2.6 改良土击实试验记录

试验编号：				试验方法：											
混合料名称：				混合料含水率：											
水泥、石灰剂量：															
水泥、石灰剂量：															
	试验序号			1		2		3		4		5		6	
干 密 度	应加水量(g)														
	试筒和湿试样的总质量(g)														
	试筒的质量(g)														
	湿试样质量(g)														
	湿密度(g/cm <sup>3</sup> )														
	干密度(g/cm <sup>3</sup> )														
含 水 率	盒号														
	盒和湿试样的总质量(g)														
	盒和干试样的总质量(g)														
	盒的质量(g)														
	水的质量(g)														
	干试样质量(g)														
	含水率(%)														
	平均含水率(%)														
最大干密度(g/cm <sup>3</sup> )															
最优含水率(%)															
超尺寸颗粒的校正				$\rho'_{g,d\max} =$ $g/cm^3$ $w'_{g,opt} =$ $\%$											

复核                      年    月    日

试验                      年    月    日

- 5 反力框架：400kN 以上。
- 6 击锤和导筒：同本规程第 20.0.3 条表 20.0.3 中 Z2 和 20.0.5 条的规定。
- 7 恒温恒湿箱或混凝土标准养护室。
- 8 水槽：深度应比试件高 50mm。
- 9 材料试验机：大于 200kN。
- 10 天平：称量 200g，分度值 0.01g；台称称量 10kg，分度值 5g。

11 其他设备：量筒、拌和工具、漏斗、烘箱、称量盒。

### 29.3.2 试样准备应按下列步骤进行：

1 按本章第 29.1.3 条规定取具有代表性的风干试样，必要时，可在 50℃ 烘箱内烘干，用木锤或木碾捣碎（不破坏原颗粒粒径），将试样过筛（细粒土应除去大于 10mm 颗粒；粗粒土应除去大于 20mm 颗粒；碎石类土应除去大于 40mm 颗粒）备用，备用试样数量：细粒土 1.1~1.3kg，粗粒土 16~17kg，碎石类土 74~78kg。在预定试验的前一天，按本规程第 29.1.4 条测定风干含水率。

2 混合料的最优含水率和最大干密度应预先按本规程第 29.2 节击实试验确定。

### 29.3.3 试件应符合下列规定：

1 同一改良土应制备相同状态的试件数量：细粒土不少于 6 个；粗粒土不少于 9 个；碎石类土不少于 13 个。细粒土可以一次称取 6 个试件的试样，粗粒土可以一次称取 3 个试件的试样，碎石类土一次只称取一个试件的试样。

2 根据试模尺寸，每个试件所需干试样质量：小试件  $\phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$  约需 180~210g；中试件  $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$  约需 1700~1900g；大试件  $\phi 50\text{mm} \times 150\text{mm}$  约需 5700~6000g。所需风干试样的质量由下式计算。

$$m_g = m_{dg} (1 + 0.01w_g) \quad (29.3.3)$$

式中  $m_g$ ——风干改良土试样质量 (g)；

$w_g$ ——改良土试样的风干含水率 (%)；

$m_{dg}$ ——改良土干试样的质量 (g)。

3 将称取的风干试样放入方盘（约 40cm × 60mm × 70mm）内，按式 (29.2.3) 计算应向试样中加的水量（细粒土使其含水率较最优含水率小 3%，粗粒土、碎石类土按最优含水率计算）。将试样与水拌和均匀后放入密封容器内浸润备用，石灰改良土和水泥、石灰改良土，可将石灰和土一起拌匀浸润。浸润时间为生石灰不少于 24h；黏性土 12~24h；粉性土 6~8h；砂性土、砂砾土、红土砂砾，级配砂砾等约 4h；含土很少的未筛分碎石、砂砾或砂约 2h。

4 将浸润过的试样，加入预定数量的水泥并拌和均匀，在拌和过程中将预留的 3% 水（细粒土）加入试样中，使混合料的含水率达到最优含水率（拌和均匀的加有水泥的混合料应在 1h 内按下述方法制成试件，超过 1h 的混合料应作废，其他混合料可不受此限，但也应尽快制成试件）。

注：水泥或石灰的剂量按干土质量的百分率计。

#### 29.3.4 试件制备可采用静力压实法或锤击法按下列步骤进行：

1 静力压实法：利用反力框架和液压千斤顶将混合试样压入试模中。加入混合试样的数量，按预定的干密度和试模容积计算。

$$m_{\text{sg}} = \rho_{\text{dg}} V (1 + 0.01 w_{\text{sg}}) \quad (29.3.4)$$

式中  $m_{\text{sg}}$ ——应取浸润混合料数量 (g)；

$w_{\text{sg}}$ ——浸润混合料的含水率 (%)；

$\rho_{\text{dg}}$ ——改良土试件的干密度 (g/Onj)；

$V$ ——试模的容积 (g/cm<sup>3</sup>)。

先将试模内壁和上下压柱底部涂上一薄层润滑油，再将试模的下压柱放入试模的下部，约外露 2cm。将称取预定数量的浸润混合料分 2~3 次用漏斗灌入试模中，每次灌入后都用夯棒轻轻均匀插实。然后将上压柱放入试模内，也约外露 2cm。再将整个试模连同上下压柱，放到反力框架内的千斤顶上，千斤顶下应放一扁球座，施加压力直至上下压柱都压入试模为止。维持 1min 后，解除压力，取出试模，拿去上压柱，放到脱模器上利用千斤顶和下压柱将试件推出脱模，称取试件质量，准确至小试件 1g；中试件 2g；大试件 5g；最后用游标卡尺量试件高度，准确至 0.1mm。

1) 小试件可以将试样一次倒入试模中，上下压柱露出试模外约 20mm 部分应该相等。

2) 用水泥稳定具有黏结性的材料制成的试件可以立即脱模；用水泥稳定无黏结性材料制成试件最好过数小时后再脱模。

2 锤击法：步骤同静力压实法，不同的是以击实试验用的击锤代替反力框架和千斤顶将上下压柱击入已放有试样的试模内，压柱顶面应垫一块牛皮或胶皮，以保护锤面和压柱顶面不受损伤。

#### 29.3.5 试件养生应符合下列规定：

1 试件脱模称量后应立即放入密封的恒温恒湿箱内进行养生，养生时中、大试件应先用塑料薄膜包复。

2 养生时间视需要而定，通常取养生 7d。养生期间的温度应保持 (20 ± 3)℃。

3 养生期的最后一天，将试件再次称量。如果试件需要浸水时，应将试件放



入水中浸泡 24h，水面应高出试件顶部 2.5cm。取出试件用柔软的抹布吸去试件表面的余水，称取试件的质量。在养生期间试件质量的损失：小试件不得超过 1g；中试件不得超过 4g；大试件不得超过 10g。试件质量损失超过此规定的，应作废。质量损失是指水分损失，试件掉粒或掉块，不作为水分损失。

29.3.6 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 取养生后（或已浸泡 24h）的试件用游标卡尺量取试件高度，准确至 0.1mm。
- 2 将试件安装在材料试验机的升降台上进行抗压试验。在试验过程中，应使试件的变形等速增加，并保持速率约为 1mm/min，记录试件被破坏时的最大压力。
- 3 从破碎试件中取代表性试样，按本规程第 29.1.4 条规定测定其含水率。

29.3.7 试验结果应按下式计算：

$$R_c = P/A \tag{29.5.8}$$

式中  $R_c$ ——无侧限抗压强度（MPa），小于 2.0MPa 计算至 0.01MPa；大于 2.0MPa 计算至 0.1MPa；  
 $P$ ——试件破坏时最大荷载（N）；  
 $A$ ——试件面积（mm<sup>2</sup>）。

29.3.8 本试验允许相对标准偏差应符合下列规定：

- 1 无侧限抗压强度相对标准偏差：

$$CV = (S/R_c) \times 100 \tag{29.3.8}$$

$$\bar{R}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_c$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_c - \bar{R}_c)^2}$$

式中  $CV$  ——相对标准偏差（%）；  
 $\bar{R}_c$ ——无侧限抗压强度均值（MPa）；  
 $S$ ——无侧限抗压强度标准偏差（MPa）；  
 $n$ ——无侧限抗压强度试验试件个数。

- 2 允许相对标准偏差  $CV\%$ ：

小试件	$CV$ 不大于 10%
中试件	$CV$ 不大于 15%
大试件	$CV$ 不大于 20%

29.3.9 记录格式应符合表 29.3.9 的要求。

表 29.3.9 无侧限抗压强度试验记录

试 验 编 号:_____					最 优 含 水 率:_____							
混 合 料 名 称:_____					最 大 干 密 度:_____							
固 化 剂 剂 量:_____					试 件 压 实 度:_____							
水泥种类和标号:_____					试 件 尺 寸:_____							
石 灰 等 级:_____					养 生 龄 期:_____							
材料的颗粒组成:_____					试件压制方法:_____							
试件号												
制试件日期												
试验日期												
养生前试件质量( $m_1$ )	(g)											
浸水前试件质量( $m_2$ )	(g)											
浸水后试件质量( $m_3$ )	(g)											
养生期间质量损失( $m_1 - m_2$ )	(g)											
吸水量( $m_3 - m_2$ )	(g)											
养生前试件高度( $A$ )	(cm)											
浸水后试件高度( $h$ )	(cm)											
试件破坏时最大荷载( $P$ )	(N)											
无侧限抗压强度( $R_c$ )	(MPa)											
试件破坏后含水率( $w$ )	(%)											

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日      试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

29.4 水泥或石灰的剂量测定（EDTA 滴定法）

29.4.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 标准筛：孔径 2mm，2.5mm。
- 2 搪瓷杯：容积约 1.2L（10 个）。
- 3 搅拌棍：不锈钢或粗玻棒（10 根）。
- 4 量筒：容量 100mL、50mL、5mL。
- 5 天平：称量 200g，分度值 1mg；称量 500g，分度值 0.5g；称量 100g，分度值 0.1g。
- 6 容量瓶：1000mL（1 个）。

7 烧杯：约 2L（或 1L）；300mL（10 个）。

8 锥形瓶：容量约 250mL（10 个）。

9 移液管：容量 10mL（10 支）。

10 滴定管：酸式 50mL，分度值 0.1mL。

11 滴定台及滴定管夹。

12 其他设备：秒表、表面皿、玛瑙研钵、pH 试纸（pH 值 12~14）、洗瓶、吸水球、乳胶管、毛刷、去污粉、特种铅笔、厘米纸、角（或塑料）勺、塑料桶、试剂瓶。

#### 29.4.2 试剂配制应符合下列规定：

1 0.1mol/L， $c$ （EDTA）标准溶液：准确称取乙二胺四乙酸二钠（ $C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$ ）37.226g 于 1L 容量瓶中，用微热的无  $CO_2$  纯水溶解，待冷至室温后，继续稀释至刻度。

2 10% $NH_4Cl$  溶液：将 500g，分析纯  $NH_4Cl$  放入 10L 洁净的聚乙烯桶中，加水 4500mL，充分振荡使完全溶解。此溶液应当天配制，当天用完。

3 1.8% $NaOH$ （含三乙醇胺）溶液：用 100g 天平称取  $NaOH$ ，18g，放入洁净干燥的 1000mL 烧杯中，加水 1000mL，待完全溶解并冷至室温后，加入 2mL 三乙醇胺，搅拌均匀后贮于聚乙烯瓶中。

4 钙指示剂：称取钙指示剂（ $C_{21}H_{13}O_7N_2SNa$ ）0.2g 与预先在 105℃烘干 1h 的（ $K_2SO_4$ ）20g，一起放入玛瑙研钵中混合均匀研成粉末，贮于棕色瓶中以防止吸潮。

#### 29.4.3 标准曲线绘制应按下列步骤进行：

1 从现场采取具代表性的石灰、土或集料。风干后，分别过孔径 2mm 或 2.5mm 筛，然后分别测定其风干含水率，水泥的含水率为零。

2 当风干混合料的质量为 300g 时，由以下公式计算混合料的组成，单位为 g。

$$\text{干混合试样的质量} = 300g / (1 + 0.01w_{g, \text{opt}})$$

$$\text{干土的质量} = \text{干混合料质量} / (1 + 0.01C)$$

$$\text{干石灰（或水泥）质量} = \text{干混合料质量} - \text{干土质量}$$

$$\text{风干土质量} = \text{干土质量} \times (1 + 0.01w_0)$$

$$\text{风干石灰的质量} = \text{干石灰质量} \times (1 + 0.01w_c)$$

应加水的质量 = 300g - 风干土质量 - 风干石灰质量

式中  $w_{g, opt}$  —— 混合料最优含水率 (%)；

$C$  —— 石灰或水泥剂量 (%)；

$w_0$  —— 风干土含水率 (%)；

$w_c$  —— 风干石灰含水率 (%)。

3 按上述计算混合料组成的方法，配制 5 种水泥或石灰改良土混合料试样，其中水泥或石灰的剂量分别为 0%、2%、4%、6%、8%，每种试样均取两份作平行测定，每份风干混合料为 300g。

1) 试样 1，准备水泥或石灰剂量为 0% 的风干混合料试样两份，每份 300g，分别放入 2 个搪瓷杯中，然后根据混合料的含水率应等于现场预期达到的最优含水率的要求，按上述计算应加水的质量，土中所加的水应与现场所用的水相同。

2) 试样 2，准备水泥或石灰剂量为 2% 的风干混合料试样两份，每份 300g，分别放在两个搪瓷杯中，然后根据混合料的含水率应等于现场预期达到的最优含水率的要求，按上述计算应加水的质量，所加的水应与现场所用的水相同。

3) 试样 3、4、5，各准备水泥或石灰剂量分别为 4%、6%、8% 的风干混合料试样各两份，每份 300g 分别放入 6 个搪瓷杯中，其他条件均与试样 2 相同。

4 取一个盛有水泥土或石灰土混合料的搪瓷杯，从中加入 10%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液 600mL，用搅拌棒以 110~120 次/min 的速度，搅拌 3min。放置 4min，若不澄清应继续放置，直至出现澄清悬液为止，记录所需时间。以后所有该种水泥土或石灰土混合料的试验均应控制同一时间。然后将上部清液移至 300mL 烧杯中，盖上表面皿待测。

以上操作当混合料是细粒土时，计算每份风干混合料的质量，可由 300g 减为 100g，加入 10%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  的溶液，由 600mL 减为 200mL。另外绘制水泥或石灰剂量为 0%~8% 标准曲线，现场实际所需水泥或石灰剂量应处于标准曲线范围内，否则应重新绘制适合现场的标准曲线。

5 用移液管吸取上部清液 10mL，放入约 250mL 锥形瓶中，加 1.8%  $\text{NaON}$  (含三乙醇胺) 溶液 50mL，此时溶液可用 pH 试纸检验，pH 值为 12.5~13.0 然后加入钙指示剂少许，摇匀，用 EDTA 标准溶液滴定至由玫瑰红色转变为天蓝色为终点，记下 EDTA 标准溶液用量，准确至 0.1mL。

6 其他各搪瓷杯中的试样均按本条第 4~5 款用同样方法进行试验，并记录各

自的 EDTA 标准溶液的用量。

7 以同一水泥剂量或石灰剂量混合料消耗 EDTA 标准溶液的平均值为纵坐标，水泥剂量或石灰剂量（%）为横坐标，绘制标准曲线，见图 29.4.3。

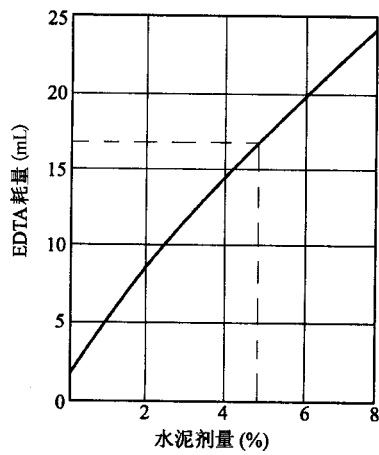


图 29.4.3 标准曲线

29.4.4 试验操作应按下列步骤进行

1 称取水泥或石灰混合料 300g，放于搪瓷杯中，用搅拌棒将结块搅散后，加入 10% $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液 600mL，以下步骤按本试验第 29.4.3 条第 4、5 款操作，以测得 EDTA 标准溶液用量。

2 利用图 29.4.3 标准曲线，由测得 EDTA 标准溶液用量（mL），可以确定其相对应的混合料中水泥或石灰剂量（%）。

29.4.5 记录格式应符合表 29.4.5 的要求

表 29.4.5 EDTA 法水泥或石灰剂量测定记录

试验 编号	混合料 名 称	稳定剂 种 类	EDTA 用量				试验结果	备 注
			由	至	耗	平均	稳定剂剂量(%)	

试验 编号	混合料 名 称	稳定剂 种 类	EDTA 用量				试验结果	备 注
			由	至	耗	平均	稳定剂剂量(%)	

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

30 酸碱度（pH 值）试验

30.0.1 pH 值是溶液中氢离子浓度的负对数。是测量土浸出液酸碱度的指标。

30.0.2 本试验采用酸度计法，适用于各类土。

30.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 酸度计（或 pH 计）：测量范围 1~12pH，分度值 0.01 pH。附玻璃电极、甘汞电极或复合电极和磁力搅拌器等。
- 2 天平：称量 100g，分度值 0.01g。
- 3 温度计：刻度 0~60℃，分度值 0.5℃。
- 4 其他设备：烘箱、烧杯、1L 容量瓶、试剂瓶、玻璃棒等。

30.0.4 试剂配制应符合下列规定：

- 1 pH=4.01 标准缓冲溶液：称取在 105℃~110℃烘干 2h 的分析纯邻苯二甲酸氢钾 (KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>) 10.21g，通过漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中，待溶解后，继续加水至刻度。
- 2 pH=6.87 标准缓冲溶液：称取在 105℃~110℃烘干 2h 的分析纯磷酸氢二钠 (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 3.53g 和磷酸二氢钾 (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 3.39g，通过漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中，待溶解后，继续加水至刻度。
- 3 pH=9.18 标准缓冲溶液：称取分析纯硼砂 (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O) 3.80g，通过漏斗用新煮沸放冷的纯水冲洗入 1L 容量瓶中，待溶解后，继续加新煮沸放冷

的纯水至刻度。贮于干燥密闭的塑料瓶中。

以上标准缓冲溶液的 pH 值，是指 25℃时的 pH 值。

4 饱和氯化钾溶液：向适量水中加入氯化钾（KCl），边加边搅拌，直至不再溶解为止。

30.0.5 试验操作应按下列步骤进行：

1 酸度计校正：在测定土悬液 pH 值之前，应按酸度计使用说明书，用标准缓冲溶液进行校正。

2 按第 3.4.1 条制备试样，称取试样 10g，放入烧杯中，加水 50mL（土水比 1：5），投入搅拌棍，放在磁力搅拌器下搅拌 3min，静置 30min，即得土悬液。

3 小心地将玻璃电极和甘汞电极（或复合电极）放入土悬液中，直至玻璃电极球部被悬液浸没为止，并使电极与杯底保持适量距离，然后将电极固定在电极架上，并使电极与酸度计连接。

4 再开动磁力搅拌器搅拌 1min（使悬液与电极充分接触），测记悬液温度，然后按酸度计使用说明书测定土悬液的 pH 值，准确至 0.01pH。

5 测定完毕，关闭电源，取出电极用水冲洗，并用滤纸吸干，或将电极浸泡于水中。

30.0.6 本试验应进行平行测定，平行测定允许差值应不大于 0.02pH。

30.0.7 记录格式应符合表 30.0.7 的要求。

表 30.0.7 pH 值测定记录

试样编号	土水比	悬液温度 (℃)	pH 值 测 定			平均值
			1	2	3	

## 31 易溶盐试验

### 31.1 一般规定

**31.1.1** 易溶盐是指土中易溶于水的盐类。包括全部氯化物和钠钾硫酸盐，钠钾碳酸盐。

**31.1.2** 本试验适用于各类土中小于 2mm 颗粒的土，当土中含有大于 2mm 颗粒的土时，应先进行筛分求出大于 2mm 颗粒土总土质量的百分数。

本试验硫酸根含量的测定：EDTA 络合滴定法适用于硫酸根含量大于 0.025% 或大于 50mg/L 的土；比浊法适用于硫酸根含量小于 0.025% 的土。

**31.1.3** 易溶盐含量大于 0.5% 的称为盐渍土，盐渍土分类应按铁道部现行的《铁路工程岩土分类标准》（TB 10077）和《铁路工程特殊土勘察规范》（TB 10038）的规定进行。

**31.1.4** 本试验应采用平行测定，平行测定允许差应符合下列规定：

1 质量法：蒸发残渣量取浸出液的体积，以蒸干所得残渣不少于 0.020g 为宜，当蒸干称量所得残渣在 0.020～0.500g 之间时，平行测定偏差应不大于 0.003g；当蒸干称量所得残渣大于 0.500g 时，平行测定偏差应小于 0.005g。

2 容量法：量取浸出液的体积，以滴定消耗标准溶液不少于 1mL 为宜，平行滴定偏差应小于或等于 0.1mL。

**31.1.5** 本试验用土浸出液的制备：称取按本规程第 3.4.1 条制备的试样约 50～100g（视土中含盐量和测定项目而定），准确至 0.01g，放入广口瓶中，按土水比 1：5 加水（当土中含盐量高达几十克时，可加大土水比例，但最大不宜超过 1：20），搅拌约 5min，放置 12h（或用振荡器振荡 3min）后过滤，所得溶液即为土浸出液。浸出液应是无色透明溶液，如果混浊应采用离心分离或用砂离棒抽滤；如果有色可用双氧水或活性炭脱色，浸出液贮于细口瓶中备用。同时另取一份试样按第 4.2 节测定风干含水率。

**31.1.6** 本试验记录格式应符合表 31.1.6 的要求。





## 31.2 蒸干法易溶盐总量测定

### 31.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 200g，分度值 0.0001g。
- 2 移液管：100mL 或 50mL、25mL。
- 3 其他设备：蒸发皿、水浴锅、电炉、烘箱、干燥器。

### 31.2.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 15%双氧水溶液：取 30% $\text{H}_2\text{O}_2$  50mL 用水稀释至 100mL。
- 2 2% $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液：称取 2g $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶解于 100mL 水中。

### 31.2.3 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 用移液管吸取土浸出液 50~100mL（视含盐量而定）于已知质量的蒸发皿中，盖上表面皿，放于水浴锅上蒸干。当蒸干残渣呈黄褐色时，应加入 15% $\text{H}_2\text{O}_2$  1~2mL，继续在水浴锅上蒸干，反复处理，直至黄褐色消失。
- 2 将蒸发皿放入烘箱中，控制在（105~110）℃温度烘干 4h，取出放入干燥器中，待冷却至室温称量，再放入烘箱中烘干 2h，取出放入干燥器中冷却至室温称量，反复进行直至最后相邻两次质量差不大于 0.0001g。
- 3 当土浸出液蒸干残渣含有大量结晶水时，将使测得易溶盐偏高，此时，可取蒸发皿两个，一个加土浸出液 50mL，一个加纯水 50mL，然后各加等量的 2% $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液，搅拌均匀后，一起按本条第 1、2 款的步骤操作，烘干温度改用 180℃。

### 31.2.4 试验结果应按下列公式计算：

- 1 未经 2% $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液处理的易溶盐总量：

$$DT = (m_2 - m_1) V_w (1 + 0.01w_0) \times 100 / (V_s \times m_0) \quad (31.2.4-1)$$

式中  $DT$ ——易溶盐总量（%），计算至 0.01%；

$V_w$ ——土浸出液用水的总体积（mL）；

$V_s$ ——吸取土浸出液体积（mL）；

$m_1$ ——蒸发皿质量（g）；

$m_2$ ——蒸发皿加残渣质量（g）；

$m_0$ ——风干试样质量（g）；

$w_0$ ——风干试样含水率（%）。

- 2 经 2% $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理后易溶盐总量的计算：

$$DT = (m - m_2) V_w (1 + 0.01w_0) \times 100 \quad (31.2.4-2)$$

$$m_2 = m_3 - m_1$$

$$m = m_4 - m_1$$

式中  $m_3$ ——蒸发皿加碳酸钠蒸干后质量 (g);  
 $m_4$ ——蒸发皿加碳酸钠加试样蒸干后的质量 (g);  
 $m_2$ ——蒸干后碳酸钠质量 (g);  
 $m$ ——蒸干后试样加碳酸钠质量 (g)。

**31.2.5 试验允许差应符合下列规定:**

- 1 平行测定允许差值应符合第 31.1.4 条的要求。
- 2 易溶盐与阴阳离子总和的相对偏差应符合表 31.2.5 的要求。

**表 31.2.5 易溶盐总量与阴阳离子和的允许偏差**

易溶盐 $DT(\%)$	相对偏差 $D(\%)$	易溶盐 $DT(\%)$	相对偏差 $D(\%)$
$DT \leq 0.05$	$-25 \sim +20$	$0.5 < DT \leq 2.00$	$-10 \sim +5$
$0.05 < DT \leq 0.20$	$-20 \sim +15$	$2.00 < DT \leq 5.00$	$-5 \sim +3$
$0.20 < DT \leq 0.5$	$-15 \sim +10$	$DT > 5.00$	$-3 \sim +2$

**3 相对偏差按下式计算:**

$$D = \left[ \sum w(P^+ N^-) - DT \right] \times 100 / DT \quad (31.2.5)$$

$$\sum w(P^+ N^-) = w(CO_3^{2-}) + w(HCO_3^-) / 2 + w(Cl^-) + w(SO_4^{2-}) + w(Ca^{2+}) + w(Mg^{2+}) + w(Na^+ + K^+) + \dots$$

式中  $D$ ——相对偏差 (%);

$\sum w(P^+ N^+)$  ——阴阳离子质量分数之和, 以%表示。

**31.2.6 记录格式应符合本规程 31.1.6 的要求。**

**31.3 离子交换法易溶盐总量测定**

**31.3.1 本试验应采用下列仪器设备:**

- 1 离子交换柱装置见图 31.3.1。
- 2 分析天平: 最大称量, 200g, 分度值 0.0001g。
- 3 滴定管: 容量 25mL, 分度值 0.1mL。
- 4 其他设备: 烘箱、干燥器、称量瓶、容量瓶、移液管、锥形瓶、洗瓶、坩埚钳、滴定台、烧杯等。

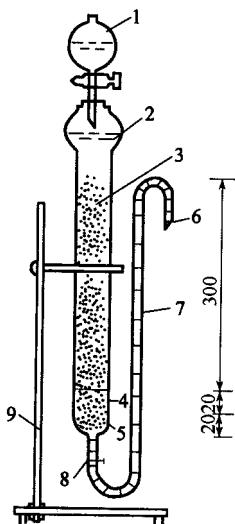


图 31.3.1 离子交换柱 (单位: mm)

1—分液漏斗; 2—离子交换柱; 3—阳离子交换树脂;

4—玻璃棉; 5—玻璃球; 6—玻璃滴管; 7—橡皮管;

8—螺旋夹; 9—固定支架

### 31.3.2 试剂配制应符合下列规定:

1 甲基橙指示剂: 溶解 0.1g 甲基橙于 100mL 水中。

2 氢氧化钠标准溶液: 溶解 4gNaOH 于 100mL 水中, 待溶解后, 取 20mL 于 1L 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 贮于聚乙烯瓶中, 然后按以下方法标定:

用分析天平称取预先在  $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$  烘干 2h 的邻苯二甲酸氢钾 ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ) 0.1000g, 共称三份, 分别置于锥形瓶中, 加无  $\text{CO}_2$  的水 100mL, 使完全溶解, 加酚酞指示剂 5~6 滴, 用以上 NaOH 溶液滴定至呈现稳定玫瑰红色为终点, 记下用量, 按下式计算准确浓度:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4) \times 1000}{V(\text{NaOH}) \cdot M(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4)} \quad (31.3.2)$$

式中  $c(\text{NaOH})$  ——氢氧化钠标准溶液浓度 (mol/L);

$V(\text{NaOH})$  ——氢氧化钠标准溶液用量 (mL);

$m(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4)$  ——称取苯二甲酸氢钾的质量 (g);

$M(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4)$  ——苯二甲酸氢钾的摩尔质量 (g/mol)。

计算至 0.0001mol/L, 三个平行测定, 平行绝对偏差不大于 0.05mL, 取算术平均值。

3 酚酞指示剂: 称取 0.5g 酚酞溶解于 100mL 乙醇中。

4 阳离子交换树脂的活化与再生: 按图 31.3.1 所示, 先在交换柱下部放入一层厚约 20mm 玻璃球, 再于玻璃球上铺一层厚约 20mm 玻璃棉, 然后自上而下装入强酸性阳离子交换树脂至高约 310mm 处, 将柱垂直固定于支架上, 用水通过皮管自下而上冲洗树脂层 (使树脂中的粉末、夹杂物溢出并排除干净)。按如下进行树脂活化: 先用吸水球通过皮管吸干树脂中滞水, 再用 (1+4) HCl 溶液自下而上反冲树脂层至柱中气泡排尽并使酸液浸没树脂层, 用螺旋夹夹紧柱下皮管, 然后装上预先放在 (1+4) HCl 溶液的分液漏斗于柱顶部, 调节螺旋夹和漏斗活塞, 使酸液自上而下控制流速约 3mL/min 作动态活化 30min, 此后关闭活塞和螺旋夹放置约 2~3h 后, 排干柱中滞酸改用水自下而上, 再自上而下如此反复洗涤柱中树脂层, 直至洗出液呈甲基橙中性反应为止, 即告活化完毕, 可供使用。当树脂经使用后老化时, 可重复上述活化步骤进行再生活化。

31.3.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 按图 31.3.1 所示, 用移液管吸取土浸出液 5~10mL (视含盐浓度而定) 于交换柱顶部的分液漏斗中, 在柱下流出处放一锥形瓶承接流出液。

2 调节分液漏斗活塞和柱下螺旋夹使以 2~3mL/min 流速流入锥形瓶中, 待漏斗中土浸出液流尽为止, 关闭活塞。

3 加适量水洗涤漏斗后, 再打开活塞调节以 3~5mL/min 的流速进行洗柱, 洗液合并于同一锥形瓶中, 如此反复洗柱直至流出液呈甲基橙中性为止。

4 取下锥形瓶, 加入甲基橙指示剂 2~3 滴, 然后用氢氧化钠标准溶液滴定至呈现橙黄色为终点, 记下  $c$  (NaOH) 标准溶液用量, 估读至 0.05mL。

31.3.4 试验结果应按下列公式计算:

1 土浸出液中阳离子总量的计算:

$$Tb(1/zP^{z+}) = \frac{V \times c(\text{NaOH}) V_w (1 + 0.01w_0) \times 1000}{V_s \times m_0} + \sum b(1/2CO_3^{2-} + HCO_3^-) \quad (31.3.4-1)$$

式中  $Tb(1/zP^{z+})$  ——土浸出液中阳离子总量 (mmol/kg), 计算至 0.01mmol/kg;

$V$ —— $c$  (NaOH) 标准溶液用量 (mL)；

$\sum b(1/2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$  ——土浸出液中  $6(1/2\text{CO}_3^{2-})$  与白 ( $\text{HCO}_3^-$ ) 之和 (mol/kg)。

2 易溶盐总量的计算：当阳离子总量  $Tb(1/z\text{P}^{z+})$  与实测阴离子和  $\sum b(1/z\text{N}^{z-})$  之间的相对偏差满足表 31.3.5 的规定时，易溶盐总量按如下计算：

$$DT = \sum w(\text{P}^+ \text{N}^-) \quad (31.3.4-2)$$

$$\begin{aligned} \sum w(\text{P}^+ \text{N}^-) = & w(\text{CO}_3^{2-}) + w(\text{HCO}_3^-) / 2 + w(\text{Cl}^-) \\ & + w(\text{SO}_4^{2-}) + w(\text{Ca}^{2+}) + w(\text{Mg}^{2+}) \\ & + w(\text{Na}^+) + w(\text{K}^+) + \dots \end{aligned}$$

式中  $DT$ ——易溶盐总量 (%), 计算至 0.001%；

$\sum w(\text{P}^+ \text{N}^-)$  ——实测阴阳离子质量分数之和 (%), 准确至 0.001%。

### 31.3.5 试验允许差应符合下列规定：

- 1 平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条要求。
- 2 阳离子总量与阴离子和的允许差值应符合表 31.3.5 要求。

表 31.3.5  $Tb(1/z\text{P}^{z+})$  与  $\sum b(1/z\text{N}^{z-})$  之间允许差

$Tb(1/z\text{P}^{z+})$ (mmol/kg)	相对偏差 (%)	$Tb(1/z\text{P}^{z+})$ (mmol/kg)	相对偏差 (%)
$Tb(1/z\text{P}^{z+}) \leq 10.00$	-25~+20	$100.00 < Tb(1/z\text{P}^{z+}) \leq 350.00$	-10~+5
$10.00 < Tb(1/z\text{P}^{z+}) \leq 50.00$	-20~+15	$350.00 < Tb(1/z\text{P}^{z+}) \leq 900.00$	-5~+3
$50.00 < Tb(1/z\text{P}^{z+}) \leq 100.00$	-15~+10	$Tb(1/z\text{P}^{z+}) > 900.00$	-3~+2

### 3 相对偏差

$$D = \left[ \sum b(1/z\text{N}^{z-}) - Tb(1/z\text{P}^{z+}) \right] \times 100 / Tb(1/z\text{P}^{z+})$$

31.3.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

### 31.4 碳酸根、重碳酸根的测定

31.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2~4 款的要求。

31.4.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 甲基橙指示剂、酚酞指示剂按本规程第 31.3.2 条配制。
- 2 0.0500mol/Lc (HCl) 标准溶液：取浓盐酸 4.2mL，于 1L 容量瓶中用纯

水稀释至刻度，然后按如下方法标定：

用分析天平称取预先在 180℃ 烘干 2h 的 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 0.1000g 共取三份，放入锥形瓶中，加水约 25mL，摇匀完全溶解后，再加甲基橙指示剂 3~4 滴，然后用配制好的盐酸标准溶液滴定至呈现橙红色为终点，记录用量，按下式计算盐酸标准溶液浓度：

$$c(\text{HCl}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \times 1000}{V(\text{HCl}) \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)} \quad (31.4.2)$$

式中  $c(\text{HCl})$  —— 盐酸标准溶液浓度 (mol/L)；

$V(\text{HCl})$  —— 盐酸标准溶液用量 (mL)；

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  —— 碳酸钠的用量 (g)；

$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)$  —— 碳酸钠摩尔质量 (g/mol)。

计算至 0.0001mol/L，三个平行测定，平行绝对偏差不大于 0.05mL，取算术平均值。

盐酸标准溶液也可用氢氧化钠标准溶液标定。也允许用硫酸标准溶液代替，标定方法同盐酸标准溶液。

### 31.4.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 25~100mL (视其含量而定) 于锥形瓶中，加酚酞指示剂 2~3 滴，摇匀 (溶液不显红色，表示无碳酸根存在)，溶液呈红色，即用盐酸标准溶液滴定至红色刚褪去为止，记下盐酸标准溶液用量，估读至 0.05mL。

2 继续加甲基橙指示剂 1~2 滴，仍用盐酸标准溶液滴定至土浸出液由黄色变为橙色为终点，记下盐酸标准溶液用量，估读至 0.05mL。

### 31.4.4 试验结果应按下列公式计算：

#### 1 碳酸根含量：

$$b(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{2V_1 \times c(\text{HCl}) \cdot V_w (1 + 0.01w_0) \times 1000}{V_s \times m_0} \times 0.5 \quad (31.4.4-1)$$

$$w(\text{CO}_3^{2-}) = b(\text{CO}_3^{2-}) \times 10^{-6} \times 60 \times 100 \quad (31.4.4-2)$$

$$w'(\text{CO}_3^{2-}) = b(\text{CO}_3^{2-}) \times 60 \quad (31.4.4-3)$$

式中  $b(\text{CO}_3^{2-})$  —— 碳酸根质量摩尔浓度 (mmol/kg)，计算至 0.01mmol/kg；

$w(\text{CO}_3^{2-})$  —— 碳酸根的含量 (% )，计算至 0.001%；

$w'(\text{CO}_3^{2-})$ ——碳酸根含量 (mg/kg), 计算至 1mg/kg;

$V_1$ ——酚酞为指示剂滴定盐酸标准溶液的用量 (mL);

60——碳酸根的摩尔质量 (g/mol);

$10^{-6}$ ——换算因数。

## 2 重碳酸根含量:

$$b(\text{HCO}_3^-) = \frac{(V_2 - V_1) c(\text{HCl}) V_w (1 + 0.01w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.4.4-4)$$

$$w(\text{HCO}_3^-) = b(\text{HCO}_3^-) \times 10^{-6} \times 61 \times 100 \quad (31.4.4-5)$$

$$w'(\text{HCO}_3^-) = b(\text{HCO}_3^-) \times 61 \quad (31.4.4-6)$$

式中  $b(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的质量摩尔浓度 (mol, kg), 计算至 0.01mmol/kg;

$w(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的含量 (%), 计算至 0.001%;

$w'(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的含量 (mg/kg) 计算至 1mg/kg;

$V_2$ ——甲基橙为指示剂滴定盐酸标准溶液的用量 (mL);

61——重碳酸根的摩尔质量 (g/mol);

$10^{-6}$ ——换算因数。

**31.4.5** 本试验应采用平行测定, 允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定, 取算术平均值。

**31.4.6** 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

## 31.5 氯根的测定

**31.5.1** 本试验应采用下列仪器设备:

1 棕色滴定管: 容量 25mL, 分度值 0.1mL。

2 其余仪器设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2、4 款的要求。

**31.5.2** 试剂配制应符合下列规定:

1 铬酸钾指示剂: 称取 5g 铬酸钾 ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) 于烧杯中, 加水适量使溶解, 然后逐滴加入硝酸银标准溶液至出现砖红色沉淀为止, 放置 24h 后过滤, 滤液用水稀释至 100mL, 贮于滴瓶中。

2 硝酸银标准溶液: 称取预先在  $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$  烘干 0.5h, 冷却后的硝酸银 ( $\text{AgNO}_3$ ) 8.5000g, 通过漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中, 待溶解后, 继续用水稀释



至刻度，贮于棕色瓶中，则硝酸银的浓度为

$$c(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{V \cdot M(\text{AgNO}_3)} = 8.5000 / (1 \times 169.868) \\ = 0.0500 \text{mol/L}$$

此硝酸根标准溶液也可用氯化钠基准溶液标定，浓度可根据氯根含量进行调整。

31.5.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 25~100mL（视其含量而定）于锥形瓶中，土浸出液的 pH 值应控制在 6.3~9.0 之间，超此范围应先用酸或碱溶液中和，加入铬酸钾指示剂 10 滴。

2 用 AgNO<sub>3</sub> 标准溶液滴定至刚出现红褐色沉淀在摇动中不消失为终点，记下 AgNO<sub>3</sub> 标准溶液用量，估读至 0.05mL。

3 用移液管吸取与土浸出液同体积的纯水于另一锥形瓶中，同本条第 1、2 款操作，作为空白试验。

31.5.4 试验结果应按下列公式计算：

$$b(\text{Cl}^-) = \frac{(V_1 - V_2) c(\text{AgNO}_3) V_w (1 + 0.01w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \tag{31.5.4-1}$$

$$w(\text{Cl}^-) = b(\text{Cl}^-) \times 10^{-6} \times 35.5 \times 100 \tag{31.5.4-2}$$

$$w'(\text{Cl}^-) = b(\text{Cl}^-) \times 35.5 \tag{31.5.4-3}$$

式中  $b(\text{Cl}^-)$  ——氯根的质量摩尔浓度（mmol/kg）计算至 0.01mmol/kg；  
 $w(\text{Cl}^-)$  ——氯根含量（‰），计算至 0.001‰；  
 $w(\text{Cl}^-)$  ——氯根含量（mg/kg），计算至 1mg/kg；  
 $V_1$ ——土浸出液滴定硝酸银标准溶液的用量（mL）；  
 $V_2$ ——空白滴定硝酸银标准溶液的用量（mL）；  
AgNO<sub>3</sub>——硝酸银标准溶液浓度（mol/L）；  
35.5——氯根的摩尔质量（g/mol）。

31.5.5 本试验应采用平行滴定，平行允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定，取算术平均值。

31.5.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

## 31.6 络合滴定法硫酸根的测定

### 31.6.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 玛瑙研钵及杵、角勺、量杯、量筒、试管。
- 2 其他仪器设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2~4 款的要求。

### 31.6.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 (1+1) 盐酸溶液：用一份盐酸溶液与一份水混合均匀。
- 2 刚果红试纸：溶解刚果红 0.5g 于 1L 水中，加乙酸 5 滴，使溶液温热后浸入试纸，待浸透后，取出晾干。
- 3 铬黑 T 指示剂：取铬黑 T ( $C_{20}H_{12}O_7N_3SNa$ ) 1g 与氯化钠 ( $NaCl$ ) 100g 于玛瑙研钵中研磨均匀，贮于棕色磨口瓶中。
- 4 氨镁缓冲溶液：取氯化铵 ( $NH_4Cl$ ) 17.5g 于 500mL 量筒中加水约 25mL，使溶解后再加浓氨水 450mL，继续用水稀释至刻度，为 a 液；另用分析天平称取氯化镁 ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) 10.000g 于 800mL 烧杯中，加适量水溶解后，再加入 EDTA ( $C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$ ) 18.317g (此时不溶解)，为 b 液。在搅拌下将 a 液缓慢地加入 b 液中 (此时沉淀逐渐溶解)，然后将此溶液移入 1L 容量瓶中，再用水稀释至刻度。
- 5 锌基准溶液：称取预先在  $105^{\circ}C \sim 110^{\circ}C$  烘干 1h 的锌粉 (或锌粒)，1.6345g 于烧杯中，慢慢地加入 (1+1) HCl 溶液约 30mL，置于水浴上加热至锌完全溶解 (切勿溅失)，然后移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，按下式计算锌基准溶液的浓度：

$$c(Zn^{2+}) = \frac{m(Zn^{2+})}{V \cdot M(Zn^{2+})} = \frac{1.6345}{1 \times 65.38} = 0.0250 \text{ mol/L}$$

- 6 氨缓冲溶液：称取氯化铵 ( $NH_4Cl$ ) 67.5g 于 1L 量筒中加水 200mL 溶解，再加浓氨水 570mL，继续用水稀释至 1L。
- 7 EDTA 标准溶液：称取乙二胺四乙酸二钠 (简称 EDTA)  $C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$  9g 溶解于适量热水中，待冷却后，移入 1L 容量瓶中，再用水稀释至刻度，然后用锌基准溶液标定。

用移液管吸取锌基准溶液 25mL 于锥形瓶中，共取三份，分别用适量水稀释后，加氨缓冲溶液 10mL，铬黑 T 指示剂少许，再加 95% 乙醇 5mL，然后用 EDTA 标准溶液滴定至呈现天蓝色为终点，记下 EDTA 标准溶液用量，按下式计算

EDTA 标准溶液浓度:

$$c(\text{EDTA}) = \frac{V(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{Zn}^{2+})}{V(\text{EDTA})}$$

式中  $c(\text{EDTA})$  ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L)，计算至 0.0001mol/L；

$V(\text{EDTA})$  ——EDTA 标准溶液用量 (mL)；

$c(\text{Zn}^{2+})$  ——锌基准溶液浓度 (mol/%)；

$V(\text{Zn}^{2+})$  ——锌基准溶液的用量 (mL)。

三份平行测定，平行绝对偏差不大于 0.05mL，取算术平均值。

8 氯化钡标准溶液：称取氯化钡 ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 12.5g 通过漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中，待溶解后，继续用水稀释至刻度，然后用 EDTA 标准溶液标定：

用移液管吸取氯化钡标准溶液 5.0mL 于锥形瓶中，用适量水稀释后，再准确加入氨镁缓冲溶液 5.0mL，摇匀，加入铬黑 T 指示剂少许，然后用 EDTA 标准溶液滴定至呈现天蓝色为终点，记下用量，即得：

$$5.0\text{mL}(\text{BaCl}_2) \approx V_{\text{BE}}\text{mL}(\text{EDTA})$$

31.6.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 取土浸出液 5mL 于试管中，加 (1+1) HCl 溶液 2 滴，再加 5% $\text{BaCl}_2$  溶液 5 滴，摇匀并观察，按表 31.6.3 估计  $\text{SO}_4^{2-}$  含量，以确定试验方法和取样数量。当估计  $\text{SO}_4^{2-}$  含量小于 50mg/L 时，应采用比浊法按本规程第 31.7 节进行操作。

表 31.6.3  $\text{SO}_4^{2-}$  含量估计与取样数量的确定

呈现浑浊程度	估计 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量(mg/L)	采用测定方法	取土浸出液数量(址)
立即生成大量沉淀	>200	络合滴定法	5~10
立即生成沉淀	100~200	络合滴定法	25~50
立即生成浑浊	50~100	络合滴定法	50~100
浑浊或微浑浊	<50	比浊法	—

2 根据观察呈现浑浊程度，按表 31.6.3 确定吸取一定量土浸出液于锥形瓶中，用水适当稀释后，投入刚果红试纸一片，滴加 (1+1) 盐酸溶液至试纸呈蓝色，再过量 2~3 滴。

3 准确加入  $\text{BaCl}_2$  标准溶液 5.0mL ( $\text{BaCl}_2$  加入量应过量 50%)，放置 30min 后，准确加入氨镁缓冲溶液 5.0mL 和铬黑 T 指示剂少许，摇匀。

4 用 EDTA 标准溶液滴定至呈现天蓝色为终点，记下 EDTA 标准溶液用量，

估读至 0.05mL。

5 另用移液管吸取土浸出液 25mL 于锥形瓶中，按本规程第 31.9 节测定  $b$  ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) 浓度。如果土浸出液中  $b$  ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) 已确定，本款操作可略。

**31.6.4 试验结果应按下列公式计算：**

$$b(\text{SO}_4^{2-}) = b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) + (V_{\text{BE}} - V_{\text{E}}) c(\text{EDTA}) (1 + 0.01w_0) V_s \times 1000 \quad (31.6.4-1)$$

$$w(\text{SO}_4^{2-}) = b(\text{SO}_4^{2-}) V_s \cdot m_0 \times 10^{-6} \times 96 \times 100 \quad (31.6.4-2)$$

$$w'(\text{SO}_4^{2-}) = b(\text{SO}_4^{2-}) \times 96 \quad (31.6.4-3)$$

式中  $b(\text{SO}_4^{2-})$  ——硫酸根的质量摩尔浓度 (mmol/kg)，计算至 0.01mmol/kg；

$w(\text{SO}_4^{2-})$  ——硫酸根含量 (% )，计算至 0.001%；

$w'(\text{SO}_4^{2-})$  ——硫酸根含量 (mg/kg)，计算至 1mg/kg；

$V_{\text{BE}}$ ——5.0mLBaCl<sub>2</sub> 相当于 EDTA 标准溶液的体积 (mL)；

$V_{\text{E}}$ ——加 BaCl<sub>2</sub> 后土浸出液滴定 EDTA 标准溶液的用量 (mL)；

$b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  ——土浸出液中钙镁的质量摩尔浓度 (mmol/kg)；

$c(\text{EDTA})$  ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L)；

96——硫酸根的摩尔质量 (g/mol)。

**31.6.5 本试验应进行平行测定，平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定，取其算术平均值。**

**31.6.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。**

**31.7 比浊法硫酸根的测定**

**31.7.1 本试验应采用下列仪器设备：**

- 1 光电比色计或分光光度计。
- 2 磁力搅拌器。
- 3 量勺：容量 0.2~0.3cm<sup>3</sup>。
- 4 筛子：孔径 0.6~0.85mm。
- 5 容量瓶：容量 100mL，5 个。

其他设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2、4 款的要求。

**31.7.2 试剂配制应符合下列规定：**

1 悬浊液稳定剂：于 300mL 纯水中加入浓盐酸 30mL、95%乙醇 100mL、氯化钠 25g 溶解混匀再加甘油 50mL，混合均匀。

2 结晶氯化钡：使结晶氯化钡先通过孔径 0.85mm 筛，再通过 0.6mm 筛，取 0.85mm 与 0.6mm 之间的晶粒。

3 E 硫酸根标准溶液：称取预先在 105℃～110℃温度下烘干 2h 的无水硫酸钠 0.1479g，通过漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中，溶解后继续用水稀释至刻度。（ $\text{SO}_4^{2-}=0.1\text{mg/mL}$ ）。

31.7.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 标准曲线的绘制：用刻度移液管分别吸取硫酸根标准溶液 5、10、20、30、40mL 于 100mL 容量瓶中，然后均用水稀释至刻度，制成硫酸根含量分别为 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0mg/100mL 的标准系列。将标准系列分别依次倒入烧杯中，各加悬浊液稳定剂 5.0mL、氯化钡结晶 1 量勺，依次置于磁力搅拌器上搅拌 1min，以水为参比，在光电比色计上用紫色滤光片（或用分光光度计于波长 200～400nm）进行比浊，在 3min 内，每隔 30s 测读一次悬液吸光值，取稳定后的吸光值，然后以  $\text{SO}_4^{2-}$  含量为纵坐标，相应的吸光值为横坐标，在坐标纸上绘制关系曲线（或用统计法进行直线回归）。

2  $\text{SO}_4^{2-}$  含量的测定：用移液管吸取土浸出液 100mL（或少取再用水稀释至 100mL）倒入烧杯中，加悬浊液稳定剂 50mL，氯化钡结晶一量勺，置于磁力搅拌器上搅拌 1min，以水为参比，在光电比色计上用紫色滤光片（或用分光光度计于波长 200～400mm）进行比浊，在 3min 内，每隔 30s 测读一次悬液吸光值。然后用测得吸光值由标准曲线上查得相对应的（或由回归方程计算） $\text{SO}_4^{2-}$  含量。

31.7.4 试验结果应按下列公式计算：

$$w(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{m(\text{SO}_4^{2-}) V_w (1+0.01w_0) \times 100}{m_0 \cdot V_s \times 10^3} \tag{31.7.4-1}$$

$$w'(\text{SO}_4^{2-}) = w(\text{SO}_4^{2-}) 0.01 \times 10^6 \tag{31.7.4-2}$$

$$b(\text{SO}_4^{2-}) = [w(\text{SO}_4^{2-}) 0.01/0.096] \times 1000 \tag{31.7.4-3}$$

式中  $m(\text{SO}_4^{2-})$  —— 由标准曲线查得或用回归方程计算而得  $\text{SO}_4^{2-}$  含量（mg）；  
 $w(\text{SO}_4^{2-})$  —— 硫酸根含量（%）；

31.7.5 本试验的精密度和准确度应符合下列要求：

1 标准曲线的线性相关系数  $r$  应满足于

$$1 > r > 0.999$$

2 带标准物对照回收值应满足在 0.90～1.10 之间。

31.7.6 记录格式应符合表 31.7.6 的要求。

表 31.7.6 比浊法  $\text{SO}_4^{2-}$  试验记录

试样 编号	风干 试样 质量 $m_0$ (g)	风干 试样 含水率 $w_b$ (%)	浸出 液用 纯水 体积 $V_s$ (mL)	吸取 浸出 液体 积 $V_s$ (mL)	测 得 吸 光 值	相应 $\text{SO}_4^{2-}$ 含 量 $m(\text{SO}_4^{2-})$ (mg)	计 算	试验结果		
							$w(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{m(\text{SO}_4^{2-})V_w(1+0.01w_b) \times 100}{V_s \cdot m_0 \times 10^3}$ $b(\text{SO}_4^{2-}) = [w(\text{SO}_4^{2-}) \times 0.01 / 0.096] \times 1000$ $w(\text{SO}_4^{2-}) = (\text{SO}_4^{2-}) \times 96$	$b(\text{SO}_4^{2-})$ (mmol /kg)	$w(\text{SO}_4^{2-})$ (%)	$w'(\text{SO}_4^{2-})$ (mg/kg)

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

31.8 钙离子测定

31.8.1 本试验仪器设备应符合本规程第 31.6.1 条的要求。

31.8.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 2mol/Lc (NaOH) 溶液：称取 8gNaOH 于烧杯中，用适量水溶解，待冷却后，继续用水稀释至 100mL，贮于聚乙烯瓶中。
- 2 钙指示剂或紫脲酸铵指示剂：称取 0.5g 钙指示剂或 0.2g 紫脲酸铵与 100g 预先烘焙的氯化钠互相混合，并置于玛瑙研钵中研细均匀，贮于棕色广口瓶中。
- 3 EDTA 标准溶液：按本规程第 31.6.2 条配制与标定。
- 4 (1+1) 盐酸溶液和刚果红试纸按本规程第 31.6.2 条制备。
- 5 95%乙醇溶液。

31.8.3 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 用移液管吸取土浸出液 25~100mL（视钙子含量而定）于锥形瓶中，投刚果红试纸一片，滴加 (1+1) HCl 溶液至试纸变为兰色为止。煮沸除去  $\text{CO}_2$ （当土浸出液中  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  含量很少时，可省略此步骤）。
- 2 冷却后，加 2mol/Lc (NaOH) 溶液 2mL（此时溶液 pH≈ 12），摇匀，放置 1~2min

3 加钙指示剂或紫脲酸铵少许, 95%乙醇 5mL, 用 EDTA 标准溶液滴定至钙指示剂由红色转变为蓝色或紫脲酸铵是由红色转变为紫色为终点, 记下 EUE& 标准溶液用量。估读至 0.05mL。

31.8.4 试验结果应按下列公式计算:

$$b\text{ (Ca}_2\text{+)} = \frac{V \cdot c\text{ (EDTA)} V_w (1+0.01w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.8.4-1)$$

$$w\text{ (Ca}^{2+}\text{)} = b\text{ (Ca}^{2+}\text{)} \times 10^{-6} \times 40 \times 100 \quad (31.8.4-2)$$

$$w'\text{ (Ca}^{2+}\text{)} = b\text{ (Ca}^{2+}\text{)} \times 40 \quad (31.8.4-3)$$

式中  $b\text{ (Ca}^{2+}\text{)}$  ——钙离子质量摩尔浓度 (mmol/kg), 计算至 0.01mmol/kg;  
 $w\text{ (Ca}^{2+}\text{)}$  ——钙离子含量 (%), 计算至 0.001%;  
 $w'\text{ (Ca}^{2+}\text{)}$  ——钙离子含量 (mg/kg), 计算至 1mg/kg;  
 $c\text{ (EDTA)}$  ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L);  
 $V$  ——EDTA 标准溶液用量 (mL);  
 $40$  ——钙离子的摩尔质量 (g/mol)。

31.8.5 本试验应进行平行滴定, 平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定, 取算术平均值。

31.8.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

31.9 钙镁离子总量的测定与镁离子的计算

31.9.1 本试验仪器设备应符合本规程第 31.6.1 条的要求。

31.9.2 试剂配制应按本规程第 31.6.2 条进行。

31.9.3 试验操作应按如下步骤进行:

1 用移液管吸取土浸出液 25~100mL (视钙镁总含量而定) 于锥形瓶中, 加入氨缓冲溶液 2.5mL, 摇匀后, 加入铬黑 T 少许, 95%乙醇 5mL, 充分摇匀, 用 EDTA 标准溶液滴定至由红色转变为天蓝色为终点, 记下 EDTA 标准溶液用量, 估读至 0.05mL。

2 另取土浸出液一份, 按本规程第 31.8 节测定钙离子的质量摩尔浓度 (如果试验已测定钙离子的含量, 可利用其计算结果, 此操作可省略)。

31.9.4 试验结果应按下列公式计算:

$$b\text{ (Ca}^{2+}\text{+Mg}^{2+}\text{)} = \frac{V \cdot c\text{ (EDTA)} V_w (1+0.01w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.9.4-1)$$

$$b(\text{Mg}^{2+}) = b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - b(\text{Ca}^{2+}) \quad (31.9.4-2)$$

$$w(\text{Mg}^{2+}) = b(\text{Mg}^{2+}) \times 10^{-6} \times 24 \times 100 \quad (31.9.4-3)$$

$$w'(\text{Mg}^{2+}) = b(\text{Mg}^{2+}) \times 24 \quad (31.9.4-4)$$

式中  $b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  ——钙镁的质量摩尔浓度 (mmol/kg)，计算至 0.01mmol/kg；

$b(\text{Mg}^{2+})$  ——镁离子质量摩尔浓度 mmol/kg，计算至 0.01mmol/kg；

$w(\text{Mg}^{2+})$  ——镁离子含量 (%)，计算至 0.001%；

$w'(\text{Mg}^{2+})$  ——镁离子含量 (mg/kg)，计算至 1mg/kg；

24 ——镁离子摩尔质量 (g/mol)。

**31.9.5** 本试验应进行平行测定，平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定，取算术平均值。

**31.9.6** 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

### 31.10 差减法计算钠钾离子总量

**31.10.1** 差减法计算土中钠钾总量，可采用阳离子交换树脂法测得阳离子总量  $Tb(1/z\text{P}^{z+})$  或用实测得到的阴离子之和  $\sum b(1/z\text{N}^{z-})$  进行计算。

1 钠钾质量摩尔浓度：

1) 阳离子交换树脂法

$$b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = Tb(1/z\text{P}^{z+}) - 2b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (31.10.1-1)$$

2) 实测阴离子之和

$$b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = \sum b(1/z\text{N}^{z-}) - 2b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (31.10.1-2)$$

$$\sum b(1/z\text{N}^{z-}) = 2b(\text{SO}_3^{2-}) + b(\text{HCO}_3^-) + b(\text{Cl}^-) + b(\text{SO}_4^{2-}) + \dots$$

2 钠钾离子总量：

$$w(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 10^{-6} \times 25 \times 100 \quad (31.10.1-3)$$

$$w'(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 25 \quad (31.10.1-4)$$

式中  $b(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  ——钠钾离子质量摩尔浓度 (mmol/kg)，计算至 0.01mmol/kg；

$w(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  ——钠钾离子总量 (%)，计算至 0.001%；

$w'(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  ——钠钾离子总量 (mg/kg)，计算至 1mg/kg；



**31.10.2** 记录格式应符合本规程表 3.1.6 的要求。

**31.11** 原子吸收分光光度法钠离子与钾离子的测定

**31.11.1** 本试验应采用下列仪器设备：

1 原子吸收分光光度计：附钠、钾的空心阴极灯。

2 乙炔钢瓶及乙炔：附减压阀、流量计。

3 空气压缩机：附流量计

4 分析天平：称量 200g，分度值 0.0001g。

5 其他设备：刻度移液管、10mL 比色管、比色管架、烧杯、量筒、容量瓶、高温炉、蒸发皿、坩埚钳、干燥器、玻璃漏斗、洗瓶等。

**31.11.2** 试剂配制应符合下列规定：

1 (1+1)  $\text{HNO}_3$  溶液：取一份浓硝酸与一份水互相混合，贮于滴瓶中。

2 5%  $\text{SrCl}_2$  溶液：溶解 5g 氯化锶于 100mL 水中。

3 钠标准溶液：称取预先在  $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$  灼烧 1h 后的氯化钠 ( $\text{NaCl}$ ) 2.521g，经漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中，待完全溶解后，继续用水稀释至刻度 (此溶液含  $\text{Na}^+$  为 1g/L)。用移液管取此液 1.0mL 于 100mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，此溶液含  $\text{Na}^+$  为  $10\mu\text{g/mL}$  或  $10\text{mg/L}$ 。

4 钾标准溶液：称取预先在  $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$  灼烧 1h 后的氯化钾 ( $\text{KCl}$ ) 1.9068g，经漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中，待完全溶解后，继续用水稀释至刻度 (此溶液含  $\text{K}^+$  为 1g/L)。用移液管吸取此溶液 2.0mL 于 100mL 容量瓶中，并用水稀释至刻度，此溶液  $\text{K}^+$  为  $20\mu\text{g/mL}$  或  $20\text{mg/L}$ 。

**31.11.3** 试验操作应按下列步骤进行：

1 工作条件按表 31.11.3 选择。

表 31.11.3 原子吸收工作条件

	钠离子 $\text{Na}^+$	钾离子 $\text{K}^+$
光源灯	钠空心阴极灯	钾空心阴极灯
灯电流	10mA	
波 长	589.0nm	766.5nm
燃烧器火焰高度	选用 7.5cm 处的氧化焰	
火焰燃气	乙炔—空气,其中乙炔流量为 2.3L/min(相当于 29.4kPa 大气压)空气流量为 9.4L/min(相当于 156.9kPa 大气压)	

2 标准曲线绘制：取 10mL 比色管 5 支，置于比色管架上，于管中分别加入  $10\mu\text{g/mL}$  的标准溶液和  $20\mu\text{g/mL}$  钾标准溶液 0、1、2、3、4mL，然后均用水稀释至刻度，再各加 5%  $\text{SrCl}_2$  1mL 和 (1+1)  $\text{HNO}_3$  溶液 4 滴，即得钠钾混合标准系列，其中含有 0、1、2、3、 $4\mu\text{g/mL}$  的  $\text{Na}^+$  和 0、2、4、6、 $8\mu\text{g/mL}$  的  $\text{K}^+$ 。然后按照选择的工作条件和所使用仪器型号的使用说明书进行操作，分别记下不同浓度的吸光值，绘制  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  浓度与对应的吸光值关系曲线，或用最小二乘法建立直线回归方程。

3 钠、钾含量测定：吸取一定量土浸出液于容量瓶中，用水稀释至钠钾含量均在标准系列的浓度范围内。取此稀释后的土浸出液 10mL 于 10mL 比色管中，加  $\text{SrCl}_2$  溶液 1mL 和 (1+1)  $\text{HNO}_3$  溶液 4 滴，然后按照标准曲线绘制的工作条件进行操作，记录土浸出液的吸光值，查标准曲线或用回归方程计算钠、钾含量。

31.11.4 试验结果应按下列公式计算：

$$w(\text{Na}^+) = P(\text{Na}^+) V_c \times V_w (1 + 0.01w^0) \times 100 \quad (31.11.4-1)$$

$$w(\text{K}^+) = P(\text{K}^+) V_c \times V_w (1 + 0.01w_0) \times 100 \quad (31.11.4-2)$$

$$b(\text{Na}^+) = [w(\text{Na}^+) 0.01 / (23 \times 10^{-3})] \times 1000 \quad (31.11.4-3)$$

$$b(\text{K}^+) = [w(\text{K}^+) 0.01 / (39 \times 10^{-3})] \times 1000 \quad (31.11.4-4)$$

$$w'(\text{Na}^+) = b(\text{Na}^+) \times 23 \quad (31.11.4-5)$$

$$w'(\text{K}^+) = b(\text{K}^+) \times 39 \quad (31.11.4-6)$$

式中  $w(\text{Na}^+)$ ,  $w(\text{K}^+)$  ——钠、钾含量 (%), 计算至 0.001%;

$b(\text{K}^+)$ ,  $b(\text{Na}^+)$  ——钾、钠质量摩尔浓度 (mmol/kg), 计算 0.01mmol/kg;

$w'(\text{Na}^+)$ ,  $w'(\text{K}^+)$  ——钠、钾含量 (mg/kg), 计算至 1mg/kg;

$\rho(\text{Na}^+)$ ,  $\rho(\text{K}^+)$  ——钠、钾质量浓度 ( $\mu\text{g/mL}$ );

$V_c$  ——标准系列定容体积 (mL);

23, 39 ——钠、钾摩尔质量 (g/mol)。

31.11.5 本试验的精密度和准确度应符合下列要求：

1 标准曲线的线性相关系数  $r$  应满足

$$1 > r > 0.999$$

2 带标准作对照回收试验，回收值应满足在 0.95~1.05 之间。

31.11.6 记录表格应符合按表 31.11.6 的要求。



## 32 中溶盐试验

### 32.1 一般规定

32.1.1 土的中溶盐是指土中石膏而言。测定结果以干土中含  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  的质量百分数表示。

32.1.2 本试验采用硫酸钡质量法，适用于各类土；采用 EDTA 容量法，适用于现场和杂质较少的土。

### 32.2 硫酸钡质量法

32.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 分析天平：称量 200g，分度值 0.0001g。
- 2 加热设备：高温炉、电炉、烘箱、水浴、干燥器。
- 3 其他设备：烧杯、洗瓶、量筒、容量瓶、坩埚、坩埚钳、漏斗架、玻璃棒、定量滤纸等。

32.2.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 0.25mol/Lc (HCl) 溶液：量取浓盐酸 20.8mL 溶于适量水中，然后继续用水稀释至 1L。
- 2 10% $\text{NH}_4\text{OH}$  溶液：于 1L 量筒中加适量水，再加浓  $\text{NH}_4\text{OH}$  400mL，然后用水稀释至 1L。
- 3 10% $\text{BaCl}_2$  溶液：称取 ( $\text{BaCl}_2$ ) 10g，溶于 100mL 水中。
- 4 酸化硝酸银溶液：称取 ( $\text{AgNO}_3$ ) 1g，溶于 100mL 水中，加 (1+1)  $\text{HNO}_3$  溶液数滴酸化，贮于棕色滴瓶中。
- 5 (1+1) HCl 溶液：取一份浓 HCl 与一份水互相混合。
- 6 甲基橙指示剂：按第 30.2.2 条配制。

32.2.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本规程第 3.4.2 条进行。称取试样 1.0000~5.0000g (视其含量而定) 于 200mL 烧杯中，徐徐加入 0.25mL/L c (HCl) 溶液 50mL 边加边搅拌，如果土中含有较高的碳酸盐，应继续加至无气泡产生为止，放置 12h。另取此试样 5.00g 测定其风干含水率。

2 将放置 12h 后的酸浸出液过滤于另一烧杯中，并用 0.25mol/Lc (HCl) 溶液淋洗残渣至滤液无  $\text{SO}_4^{2-}$  为止 (可承取最后滤液数滴于试管中，加 10% $\text{BaCl}_2$

数滴应无白色浑浊生成)。

3 向滤液中加甲基橙指示剂 2 滴,用 10% $\text{NH}_4\text{OH}$  溶液中和至呈现黄色,然后改用 (1+1)  $\text{HCl}$  溶液滴加至滤液刚转变为红色为止,继续多加 10 滴过量的酸。

4 置于电炉上加热至沸,在搅拌下缓缓滴加热的 10%  $\text{BaCl}_2$  溶液,直至滤液中  $\text{SO}_4^{2-}$  完全沉淀后,再加数滴使稍过量为止(是否完全沉淀,可稍等滤液澄清后,沿杯壁滴加氯化钡溶液,观察溶液接触处,如无白色浑浊生成,表示已沉淀完全)。

5 将沉淀溶液移置于水浴内,使在 60℃ 下保温 2h (或在室温放置 12h)。

6 用无灰定量滤纸过滤,并用热水洗涤沉淀物,直至滤液无  $\text{Cl}^-$  为止(可承接滤液少许,用酸化  $\text{AgNO}_3$  溶液检验至无白色浑浊表示已洗净)。

7 将已洗净的沉淀物连同滤纸包裹好,放入预先在 600℃ 灼烧已知质量的坩埚中,再将坩埚放在电炉上用文火加热使滤纸充分灰化(但不得出现明火),然后移入高温炉中,控制在 600℃ 灼烧 1h,取出放在石棉板上稍冷,再移入干燥器中继续冷却至室温,迅速称量,准确至 0.000g。再将其放入高温炉中,控制在 600℃ 灼烧 30min。取出冷却、称量如此反复操作,直至最后两次称量差值不大于 0.0005g 为恒量。

8 另取试样一份按照本规程第 31.1.5 条制备土浸出液,并按第 31.6 节或第 31.7 节测定易溶盐中  $\text{SO}_4^{2-}$  含量。

**32.2.4 试验结果应按下列公式计算:**

$$w(\text{SO}_4^{2-})_b = \frac{(m_2 - m_1) \times 0.4114 (1 + 0.01w_0) \times 100}{m_0} \quad (32.2.4-1)$$

$$w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = [w/(\text{SO}_4^{2-})_b - w(\text{SO}_4^{2-})_w] \times 1.7922 \quad (32.2.4-2)$$

式中  $w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  ——中溶盐(石膏)含量(%),计算至 0.01%;  
 $w(\text{SO}_4^{2-})_b$ ,  $w(\text{SO}_4^{2-})_w$  ——酸浸出液和水浸出液中硫酸根的含量(%),  
计算至 0.01%;

$m_1$  ——坩埚的质量(g);

$m_2$  ——坩埚加沉淀物的质量(g);

$m_0$  ——风干试样质量(g);

$w_0$  ——风干试样含水率(%);

1.7922——(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 换算因数。

1.7922——(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 换算因数。

**32.2.5** 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 32.2.5 的规定，取算术平均值。

表 32.2.5 平行测定允许差

$w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})(\%)$	平行测定允许差值(%)
$<1$	$<0.1$
$1\sim5$	$<0.2$
$5\sim10$	$<0.3$
$>10$	$<0.5$

**32.2.6** 记录格式应符合表 32.2.6 的要求。

表 32.2.6 中溶盐 (石膏) 试验记录 (质量法)

[illegible]

### 32.3 EDTA 容量法

**32.3.1** 本试验应采用下列仪器设备：

1 分析天平：称量 200g，分度值 0.0001g。

2 其他设备：滴定管、移液管、锥形瓶、烧杯、容量瓶、玻璃棒、漏斗及架，滤纸等。

**32.3.2** 试剂配制应符合下列规定：

1 混合碱试剂：称取  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  13.5g， $\text{NaOH}$  10g 分别溶于适量水中，然后将两液混合，并用水稀释至 500mL。

2 0.25mol/Lc (HG) 溶液、10% $\text{NH}_4\text{OH}$  溶液等按第 32.2.2 条配制。

3 刚果红试纸、铬黑 T 指示剂，氨镁缓冲溶液，EDTA 标准溶液， $\text{BaCl}_2$  标准溶液等按本规程第 31.6.3 条配制。

4 三乙醇胺。

**32.3.3** 试验操作应按下列步骤进行：

1 同第 32.2.3 条第 1、2 款操作。

2 于滤液中加刚果红一片，用 10% $\text{NH}_4\text{OH}$  溶液中和至试纸恰转变为红色。

3 将中和后的滤液加入混合碱试剂约 15mL（视  $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$  及其他重金属离子含量而定），摇匀，置于电热板上煮沸 10min，取下冷却后，过滤于 250mL 容量瓶中，用水洗滤数次，合并滤液，继续用水稀释至刻度。

4 用移液管吸取此滤液各 5.0mL 于两个锥形瓶中，各加刚果红试纸一片，用 0.25mol/Lc (HCl) 溶液滴加至试纸由红变蓝为止。取其中一瓶多加 0.25mol/Lc (HCl) 溶液 5 滴，准确加入  $\text{BaCl}_2$  标准溶液 5.0mL，摇匀，静置 0.5h，再准确加入氨镁缓冲溶液 5.0mL，铬黑 T 指示剂少许，然后用 EDTA 标准溶液滴定至天蓝色为终点，记下用量  $V_E$ 。取另一瓶，直接加氨缓冲溶液 2.5mL 和铬黑 T 指示剂少许，用 EDTA 标准溶液滴定于天蓝色为终点，记下用量  $V_H$ 。

5 另取试样一份，按本规程第 31.1.5 条制备土浸出液，并按本规程第 31.6 节测定易溶盐中  $\text{SO}_4^{2-}$  含量。

**32.3.4** 试验结果应按下式计算：

$$\tau_w (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) =$$

$$\left[ \frac{(V_H + V_{BE} - V_E) \cdot c(\text{EDTA}) V \cdot (1 + 0.01\tau_w) \times 9.6}{m_0 \cdot V_s} - \tau_w (\text{SO}_4^{2-})_w \right] \times 1.7922 \quad (32.3.4)$$

式中  $w$  ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ——中溶盐 (石膏) 含量 (%), 计算至 0.01%;

$V_{\text{H}}$ ——钙镁消耗 EDTA 标准溶液的体积 (mL);

$V_{\text{BE}}$ ——5.0mLBaCl<sub>2</sub> 溶液消耗 EDTA 标准溶液的体积 (mL);

$V_{\text{E}}$ ——滴定过量 BaCl<sub>2</sub> 消耗 EDTA 标准溶液的体积 (mL);

$V$ ——酸浸出液总体积 (mL);

$V_{\text{s}}$ ——测定时取酸浸出液体积 (mL);

$c$  (EDTA) ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L);

**32.3.5** 本试验采用平行测定, 平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条规定, 取算术平均值。

**32.3.6** 记录格式应符合表 32.3.6 的要求。

## 33 难溶盐试验

### 33.1 一般规定

**33.1.1** 土中难溶盐是指土中钙镁的碳酸盐类。测定结果以干土中含  $\text{CaCO}_3$  的质量百分数表示。

**33.1.2** 本试验应采用气量法和中和法。气量法适用于难溶盐含量在 20% 以下的土; 中和法适用于难溶盐含量较高、杂质较少的土。

### 33.2 气量法

**33.2.1** 本试验应采用下列仪器设备:

- 1  $\text{CO}_2$  约测计装置, 见图 33.2.1。
- 2 分析天平: 称量 200g, 分度值 0.001g。
- 3 其他设备: 气压计、温度计、瓷坩埚、长柄夹、烘箱、干燥器等。

**33.2.2** 试剂配制应符合下列规定:

- 1 甲基橙指示剂: 按本规程第 31.3.2 条配制。
- 2 (1+3) 盐酸溶液: 取一份浓盐酸溶液与三份水互相混合。

**33.2.3** 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 按图 33.2.1 所示, 安装好  $\text{CO}_2$  约测计固定于支架上。
- 2 通过移动管上漏斗活塞, 将漏斗中加有少量盐酸和几滴甲基橙溶液的水注





入 CO<sub>2</sub> 测量管中。

3 取适量已按本规程第 3.4.2 条制备好的风干试样置于 105℃~110℃ 烘干，冷却后，用天平称取 1~5g（视其含量而定），准确至 0.001g，放入广口瓶中，另取适量（1+3）盐酸溶液于瓷坩埚中，用长柄夹小心地将坩埚夹入广口瓶中放稳，塞紧广口瓶塞，然后打开活塞，升降橡皮管使三管水面齐平。

4 为了检查约测计各接头是否漏气，可关闭活塞，将升降橡皮管下移，观察测量管左右两管水位是否保持平衡，若水面随之下降，表示漏气，此时应检查各接头，直至不漏气为止。打开活塞，再使两测量管水面保持同一水平，再关闭活塞，记录测量管右管的水位（起始读数）。

5 用手按住广口瓶颈部，轻轻摇动瓶子，使瓶中坩埚内的盐酸溶液倾出与试样充分混合，此时产生 CO<sub>2</sub> 逸出使测量右管受压水位下降，应立即开启活塞，使两测量管水面保持在同一水平上。

6 放置 10min 至测量管水面稳定后，再移动升降橡皮管，使三管水面齐平，关闭活塞，记录测量管右管的最终水面读数。

7 同时记录水温和大气压力。

33.2.4 试验结果应按下列公式计算：

1 当大气压力大于 98.925kPa 时

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{V(\text{CO}_2) \cdot \rho(\text{CO}_2) \times 2.272}{m_d \times 10^6} \times 100 \quad (33.2.4-1)$$

式中  $w(\text{CaCO}_3)$  ——难溶盐（碳酸钙）含量（%），计算至 0.01%；

$V(\text{CO}_2)$  ——二氧化碳体积（mL）；

$\rho(\text{CO}_2)$  ——在试验时的水温和大气压力的二氧化碳密度（μg/mL），由表 33.2.4 查得；

2.272——CaCO<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> 换算因数；

10<sup>6</sup>——由微克数换算成克数；

$m_d$ ——干试样质量（g）。

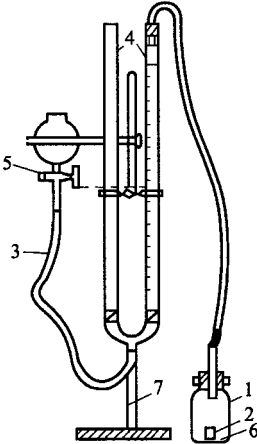


图 33.2.1 CO<sub>2</sub> 约测计

- 1—广口瓶；2—瓷坩埚；
- 3—升降橡皮管；4—CO<sub>2</sub> 测量管；5—升降瓶活塞；
- 6—土样；7—固定支架

表 33.2.4 不同温度及大气压力下二氧化碳密度  $\rho$  (CO<sub>2</sub>) (μg/mL)

温度 ℃	大 气 压 力 [kPa(mmHg)]														
	98.925 (742)	99.258 (744.5)	99.591 (747)	99.858 (749)	100.125 (751)	100.458 (753.5)	100.791 (756)	101.059 (758)	101.325 (760)	101.658 (762)	101.991 (765)	102.258 (767)	102.525 (769)	102.791 (771)	103.191 (774)
28	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1823	1828	1833	1837	1842	1847	1852	1856
27	1784	1790	1707	1803	1810	1816	1823	1829	1834	1839	1843	1848	1853	1858	1863
26	1791	1797	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1840	1845	1849	1854	1859	1864	1869
25	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1836	1842	1847	1852	1856	1861	1866	1871	1876
24	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1842	1848	1853	1858	1.862	1867	1872	1877	1882
23	1809	1815	1822	1825	1835	1842	1848	1854	1859	1864	1868	1873	1878	1883	1888
22	1815	1821	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890	1895
21	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1861	1867	1872	1877	1882	1887	1892	1897	1902
20	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1867	1873	1878	1883	1888	1893	1898	1903	1908
19	1834	1840	1847	1853	1860	1866	1873	1879	1884	1889	1894	1899	1904	1909	1914
18	1840	1846	1853	1859	1866	1872	1879	1885	1890	1895	1900	1905	1910	1915	1920
17	1846	1853	1860	1866	1873	1879	1885	1892	1897	1902	1907	1912	1917	1922	1927
16	1853	1860	1866	1872	1879	1885	1892	1898	1903	1908	1913	1918	1923	1928	1933
15	1859	1866	1872	1879	1885	1892	1899	1905	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940
14	1865	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1917	1922	1927	1932	1937	1942	1947
13	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1924	1929	1934	1939	1944	1949	1954
12	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960
11	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1932	1937	1942	1947	1952	1957	1962	1967
10	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1933	1939	1944	1949	1954	1959	1964	1969	1974

2 当大气压力小于 98.925kPa 时

$$\omega \text{ (CaCO}_3\text{)} = \frac{M \text{ (CaCO}_3\text{)} \cdot n \text{ (CO}_2\text{)} \times 100}{m_d} \tag{33.2.4—2}$$

$$n \text{ (CO}_2\text{)} = P \cdot V \text{ (CO}_2\text{)} / (R \cdot T)$$

式中  $M \text{ (CaGO}_3\text{)}$  —— 碳酸钙摩尔质量 (g/mol)；

$n \text{ (CO}_2\text{)}$  —— 二氧化碳物质的量 (mol)；

$P$  —— 试验时大气压力 (kPa)；

$T$  —— 试验时水的热力学温度 (K)；

$R$  —— 摩尔气体常数 [=8314kPa · mL/ (mol · K)]。

33.2.5 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 33.2.5 的规定，取算术平均值。

表 33.2.5 平行测定允许差

难溶盐 $w(\text{CaCO}_3)(\%)$	平行测定允许差值(%)
$>10$	$<1.0$
$1\sim10$	$<0.5$
$<1$	$<0.2$

33.2.6 记录格式应符合表 33.2.6 的要求。

表 33.2.6 气量法难溶盐记录表

试样 编号	烘干 试样 质量 $m_d$	试验 时水 温度	大气 压力 $P$	$\text{CO}_2$ 密度 $\rho(\text{CO}_2)$	$\text{CO}_2$ 体积 $V$			计 算		难溶盐含量	
					初 读 数	终 读 数	实 测 值	$w(\text{CaCO}_3)=\frac{V(\text{CO}_2)\rho(\text{CO}_2)\times2.272}{w_d\times10^6}\times100$		$w(\text{CaCO}_3)$	平 均
					(mL)			(%)		(%)	
	(g)	(℃)	(kPa)	(μg/mL)							

复核\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

试验\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

33.3 中和法

33.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 分解装置见图 33.3.1。
- 2 水浴锅或电热板。
- 3 移液管、滴定管、锥形瓶、瓶塞打孔器。
- 4 烘箱、干燥器。
- 5 分析天平：称量 200g，分度值 0.001g。

33.3.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 硫酸标准溶液：用刻度移液管量取浓硫酸 5.6mL，溶于适量水，待冷却

后,继续用水稀释至 1L。然后称取预先在 180℃烘干 2h 的碳酸钠 0.1000g,放入锥形瓶中,用适量水溶解,加甲基橙指示剂 3~4 滴,再用配制好的硫酸标准溶液滴定至橙红色为终点,记下用量,按下式计算硫酸标准溶液的准确浓度。

$$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \times 1000}{V_{\text{H}} \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)} \quad (33.3.2)$$

式中  $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)$  ——硫酸标准溶液浓度 (mol/L);

$V_{\text{H}}$  ——硫酸标准溶液滴定用量 (mL);

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  ——称取  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的质量 (g);

$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)$  ——碳酸钠摩尔质量 (= 52.994g/mol)。

2 氢氧化钠标准溶液:称取 NaOH 8g,溶于适量水,2—单孔橡皮塞;

待冷却后,继续用水稀释至 1L。然后用邻苯二甲酸氢钾按 3—玻璃管

本规程第 31.3.2 条改酚酞指示剂为甲基红指示剂,滴定终点由红色转变为黄色进行标定。

3 甲基红指示剂:称取甲基红指示剂 0.1g 溶解于 100mL 水中。

### 33.3.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 取适量已按本规程第 3.4.2 条制备好的风干试样,置于 105℃~110℃烘干 2h,待冷却至室温,称取 0.1~0.5g (视其含量而定) 准确至 0.001g,放入锥形瓶中,用少量水润湿。

2 向锥形瓶中用移液管加入硫酸标准溶液 25.0mL (视碳酸盐含量而定,应过量 50%),然后用插有玻璃管的单孔橡皮塞塞紧,如图 33.3.1 所示。

3 摇匀,使锥形瓶中硫酸标准溶液与试样充分混合,再放入沸水浴 (或电热板上) 加热至无气泡产生,取下冷却。

4 打开橡皮塞,用水冲洗玻璃管,橡皮塞和瓶壁,然后加甲基红指示剂 4 滴,立即用氢氧化钠标准溶液滴定至溶液由红色转变为黄色为终点,记下用量。

### 33.3.4 试验结果应按下式计算:

$$\omega(\text{CaCO}_3) = \{ [V_{\text{H}} \cdot c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) - V_{\text{OH}} \cdot c(\text{NaOH})] \times 0.022 \times 100 / m_{\text{a}} \} \times 2.274 \quad (33.3.4)$$

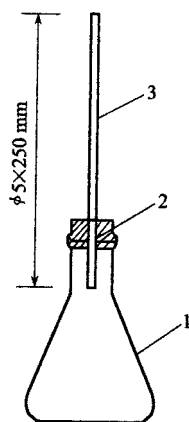


图 33.3.1 分解装置

1—锥形瓶;

2—单孔橡皮塞;

3—玻璃管

复核 年 月 日 试验 年 月 日

## 34 有机质含量试验

### 34.1 一般规定

#### 34.1.1 土中有机质含量的测定应采用以下两种方法：

1 灼失量法是指土在 550℃ 烧灼至恒量时，所失去质量与干试样质量之比，以百分数表示。用以估计土中有机质含量。

2 重铬酸钾法测定有机质是以碳、氧、氢、氮为主体，还有少量硫、磷以及金属元素组成的有机化合物的通称。试验结果为有机碳乘以 1.724 换算成有机质。

34.1.2 本试验灼失量法适用于含碳酸盐和结晶水较少的土；重铬酸钾法适用于有机质含量不大于 15% 的土。

34.1.3 本试验用水和试剂的纯度应符合本规程第 1.0.3 条的要求。

### 34.2 灼失量法

#### 34.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 200g，分度值 0.001g；
- 2 高温炉：应能满足控温 550℃ 的要求；
- 3 其他设备：烘箱、干燥器、坩埚、坩埚钳。

#### 34.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 取按本规程第 3.4.2 条制备的试样，约 20g 置于干燥箱中，按本规程第 4.2.2 条第 5 款规定烘干试样。烘干后将试样放于干燥器内冷却并保存好。

2 称取烘干后的试样 3.000~5.000g 于已知质量的瓷坩埚中，再将坩埚放入高温炉内，在炉温 550℃ 下烧灼 0.5h，取出稍冷，盖上坩埚盖，放入干燥器内，冷至室温，称量，如此重复烧灼、冷却、称量，直至最后相邻两次称量相差不大于 0.005g 为恒量。称量准确至 0.001g。

#### 34.2.3 试验结果应按下式计算：

$$Q = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_3)} \times 100 \quad (34.2.3)$$

式中  $Q$ ——灼失量（%），计算至 0.1%；

$m_3$ ——坩埚质量（g）；

$m_1$ ——在 65℃~70℃ 烘干试样加坩埚质量（g）；

$m_2$ ——在 550℃ 烧灼试样加坩埚质量（g）。

34.2.4 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 34.2.4 的规定，取算术平均值。

表 34.2.4 平行测定允许差值

灼失量 Q(%)	平行测定允许差值(%)
>20	0.5
20~10	0.3
10~1	0.2
<1	0.05

34.2.5 记录格式应符合表 34.2.5 的要求。

表 34.2.5 灼失量试验记录

试样 编号	坩 埚 号	坩 埚 质量 $m_3$ (g)	坩 埚 加 烘 干 试 样 质 量 $m_1$ (g)	坩 埚 加 烧 灼 试 样 质 量 (g)	计 算	试验结果	
					$Q=\frac{(m_1-m_2)}{(m_1-m_3)}\times 100$	灼失量 Q	平均
						(%)	

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

34.3 重铬酸钾法

34.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 200g，分度值 0.0001g。
- 2 硬质试管：内径 20mm，长 200mm。
- 3 油浴锅：内装植物油，并带有铁丝笼。
- 4 其他设备：温度计 0~200℃、电炉、小漏斗、试管架、滴定台、夹、滴定管、锥形瓶、2L 烧杯、2L 容量瓶。

34.3.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 0.075mol/Lc (K<sub>2</sub>r<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 溶液：称取预先研细后在 105℃~110℃烘干，冷却的 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>44.1282g 放入 2L 烧杯中，加水约 80mL，使其溶解（如不溶解可加



热)再缓慢地加入浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1000mL, 放置冷却至室温, 移入 2L 容量瓶中, 用少量水洗涤烧杯数次, 洗液一并移入容量瓶中, 然后继续用水稀释至刻度。

2 0.2000mol/Lc ( $\text{FeSO}_4$ ) 标准溶液: 称取 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 56g [或 ( $\text{NH}_4$ )  $2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 80g] 于烧杯中, 用适量水溶解, 再加 3mol/Lc ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 溶液 30mL, 然后用水稀释至 1L。按如下标定:

用移液管量取 0.075mol/Lc ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 溶液 10.0mL, 取三份于锥形瓶中, 分别加水约 50mL, 加邻菲罗啉指示剂 3~5 滴, 然后用  $c(\text{FeSO}_4)$  标准溶液滴定至溶液由黄色经绿色又突变成橙红色为终点, 记下用量, 按下式计算  $c(\text{FeSO}_4)$  的浓度:

$$c(\text{FeSO}_4) = 10.0 \times 0.075 \times 6 / V$$

式中  $c(\text{FeSO}_4)$  ——亚铁标准溶液浓度 (mol/L), 计算至 0.0001 (mol/L);

$V$ ——铁标准溶液用量 (mL);

0.075—— $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  溶液的浓度 (mol/L);

10.0——量取  $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  溶液的体积 (mL);

6——换算因数  $n(\text{FeSO}_4) / n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 6/1$ 。

标定平行允许差值应小于或等于 0.05mL。

3 邻菲罗啉指示剂: 称取邻菲罗啉 1.485g 和 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 0.695g 共溶于 100mL 水中, 贮于棕色瓶中。

### 34.3.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 称取按本规程第 3.4.2 条制备的风干试样, 约 0.1~0.5g (视有机质含量而定), 准确至 0.0001g, 放入预先干燥的硬质试管底部, 用滴定管缓慢滴入 0.075mol/Lc ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 溶液 10.0mL, 使与试样混合均匀, 于试管口插一小漏斗。

2 将试管插入铁丝笼中, 放入预先加热至 190℃左右的油浴锅内, 试管内的液面应低于油面, 控制在 170℃~180℃的温度内, 从试管内溶液沸腾时开始计时, 煮沸 5min 取出稍冷, 擦去试管外壁油渍, 放于试管架上。

3 将试管内溶液倒入锥形瓶中, 并用水洗涤试管内部, 使试液控制在 60mL 左右。

4 于锥形瓶中加入邻菲罗啉指示剂 3~15 滴, 用  $c(\text{FeSO}_4)$  标准溶液滴定至溶液由黄色经绿色突变为橙红色为终点, 记下  $c(\text{FeSO}_4)$  标准溶液用量。估读

至 0.05mL。

- 5 用纯砂代替试样，在试验同时，按本条第 1～4 款操作，进行空白试验。
- 6 另取一份风干试样按本规程第 4.2.2 条第 5 款规定测定含水率。

34.3.4 试验结果应按下式计算：

$$W_u=c\left(\text{FeSO}_4\right)\left(V_0-V\right)\left(1+0.01 w_0\right) \times 0.003 \times 1.724 \times 1.1 \times 100 / m_0$$

(34.3.4)

式中  $W_u$ ——有机质含量（%），计算至 0.01%；

$c\left(\text{FeSO}_4\right)$ ——硫酸亚铁标准溶液浓度（mol/L）；

$V_0$ ——空白滴定硫酸亚铁用量（mL）；

$V$ ——试样滴定硫酸亚铁用量（mL）；

0.003—— $M\left(1 / 4 C\right)$  摩尔质量（kg/mol）；

1.724——有机碳换算成有机质的因数；

1.1——氧化校正系数；

$m_0$ ——风干试样质量（g）；

$w_0$ ——风干试样含水率（%）。

34.3.5 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 34.3.5 的规定，取算术平均值。

表 34.3.5 平行测定允许差

$W_u(\%)$	平行测定允许差值(%)	$W_u(\%)$	平行测定允许差值(%)
<0.1	0.01	5~10	0.3
0.1~1	0.05	>10	0.4
1~5	0.2		

34.3.6 记录格式应符合表 34.3.6 的要求。

表 34.3.6 重铬酸钾法有机质试验记录

试样 编号	风干试 样质量 $m_0$ (g)	风干试 样含水 率 $w_0$ (%)	硫酸亚铁 标准溶液 $c(\text{FeSO}_4)$ (mol/L)	滴定 $c(\text{FeSO}_4)$				计 算		试验结果	
				(mL)	由	至	耗	$W_u = [c(\text{FeSO}_4)(V_0 - V) \\ (1 + 0.01w_0)0.003 \times 1.724 \\ \times 1.1/m_0] \times 100$		$W_u$	平均
										(%)	
				$V_0$							
				$V$							
				$V_0$							
				$V$							
				$V_0$							
				$V$							
				$V_0$							
				$V$							
				$V_0$							
				$V$							
				$V_0$							
				$V$							
				$V_0$							
				$V$							
				$V_0$							
				$V$							

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

35 阳离子交换量试验

35.0.1 阳离子交换量是测量土对溶液中阳离子交换吸附性能强弱的指标。试验结果以所交换阳离子浓度毫摩尔每千克土表示，即 mmol/kg。

35.0.2 本试验采用 EDTA 铵盐法，适用于酸性土、中性土，也适用于石灰性土。

35.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 离心机：转速 3000~4000r/min，离心管 100mL。
- 2 天平：称量 200g，分度值 0.0001g；称量 200g，分度值 0.01g；称量

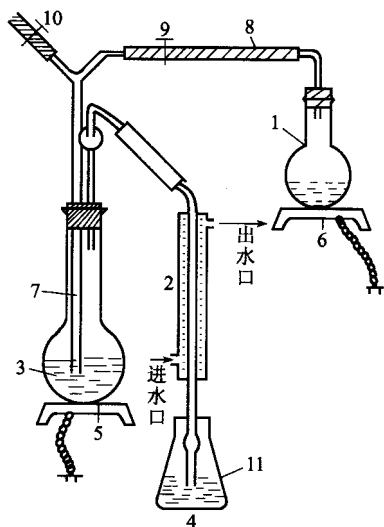


图 35.0.2 蒸馏装置

1—蒸汽发生器；2—冷凝箱；3—开氏瓶；4—吸收瓶；5、6—电炉；  
7—Y形管；8—橡皮管；9—螺丝夹；10—弹簧夹；11—缓冲管

500g，分度值 0.5g。

3 蒸馏装置：按图 35.0.2 所示安装，其中开氏瓶体积为 150mL。

4 其他设备：带橡皮头玻棒、烧杯、锥形瓶、滴定管、滴定管夹及台、白瓷板，100mL 量筒，1L 容量瓶。

#### 35.0.4 试剂配制应符合下列规定：

1 EDTA 铵盐混合液，称取醋酸铵 ( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ) 77.09g 和乙二胺四乙酸 ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ ) 1.641g，用水溶解后一起洗入 1L 容量瓶中，加水至 900mL 左右，用 (1+1) 氨水 ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 或稀醋酸溶液调至 pH7.0 或 pH8.5，然后定容至刻度。即用同样方法配成两种不同酸度的混合液备用。其中 pH7.0 用于中性和酸性土的提取；pH8.5 仅用于石灰性土的提取。调节 pH 值可在酸度计上进行，即准确吸取混合液 50mL，调节所用  $\text{NH}_4\text{OH}$  或醋酸的用量，以此算出 1L 混合液需要量。

2 95%乙醇（应无铵离子反应）。

3 氧化镁：在高温炉中于  $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$  灼烧 0.5h。

4 定氮混合指示剂：分别称取甲基红 0.1g 和溴甲酚绿 0.5g，放入玛瑙研钵中，用 100mL 95%乙醇研磨溶解，然后用稀盐酸或稀氢氧化钠调节到 pH4.5（指

示剂显淡紫色)。

5 钠氏试剂：取氢氧化钾 (KOH) 135g 溶于 460mL 水中为 A 液，取碘化钾 (KI) 20g 溶于 50mL 水中，加碘化汞使溶液至饱和状态 (约 32g) 为 B 液。然后 A、B 两液互相混合。

6 2%硼酸溶液：称取硼酸 20g，用热水 (约 60℃) 溶解，冷却后稀释至 1L。加定氮混合指示剂 3~5 滴，用稀盐酸或稀氢氧化钠调节至溶液呈淡紫色 (pH4.5)。

7 盐酸标准溶液：取浓盐酸 4.17mL，用水稀释至 1L，按下列标定。

称取预先在 180℃烘干 2h 的碳酸钠三份，每份 0.1000g，分别放入锥形瓶中，加水约 25mL 使其溶解，各加混合指示剂 1~2 滴，用盐酸标准溶液滴定至溶液由蓝色变为淡红色为终点，按下式计算盐酸标准溶液准确浓度：

$$c(\text{HCl}) = m / [V \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)]$$

式中  $c(\text{HCl})$  —— 盐酸标准溶液浓度 (mol/L)，计算至 0.0001mol/L；

$m$  —— 取碳酸钠的质量 (g)；

$V$  —— 盐酸标准溶液用量 (mL)，平行滴定绝对偏差不大于 0.05mL，取平均值；

$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)$  —— 碳酸钠摩尔质量 (=0.053kg/mol)。

8 丙酮 (或苯)。

9 固体石蜡 (或液体石蜡)

### 35.0.5 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样按第 3.4.2 条制备，称取过 0.25mm 筛的风干试样约 1g (视交换量大小而定) 准确至 0.01。

2 将试样放入 100mL 离心管中，沿离心管壁加入约 1mL EDTA 铵盐混合液，用带橡皮头的玻棒充分搅拌成泥浆状态，再加约 70~80mL 的 EDTA 铵盐混合液，再搅拌约 1~2min，洗净带橡皮头玻棒。

3 在托盘天平上将离心管及其内容物调整至成对平衡后，对称放入离心机中，以 3000r/min 的速度，离心约 3~5min，弃去离心管中上部清液。

4 于离心管中加 95%乙醇约 50~60mL，充分搅拌后，再离心洗涤，弃去清液，直至过剩铵盐洗净为止 (检验方法：以 95%乙醇为空白，取数滴 95%乙醇和数滴清液分别置于白瓷板上，各加 1 滴钠氏试剂，应不显黄色)。一般洗涤三次即

可，个别试样在洗涤到最后可能出现浑浊现象，此时可改用 20mL95%乙醇搅拌后，再加 40mL 丙酮（或苯）再搅拌，然后离心洗涤，使上部溶液澄清弃去。

5 洗净铵盐后，将离心管口向下，用水冲洗离心管外壁，然后于离心管中加入约 1mL 水，搅拌成糊状，再用水冲洗入 150mL 开氏瓶中（洗入水总体积控制在 80~100mL 左右），加石蜡 2g 待蒸馏。

6 按图 35.0.2 连接好蒸馏装置，并检查各接头不漏气后，将盛有 25mL 2% 硼酸吸收液（补加定氮混合指示剂 1~2 滴）的锥形瓶，用缓冲管接在冷凝管的下端，缓冲管下端应沉入锥形瓶中液面下。

7 取 1s 氧化镁，用水调成糊状，通过 Y 形管冲洗入开氏瓶中，夹好弹簧夹 10。打开螺旋夹 9（蒸汽发生器中的水应预先加热至沸），通入蒸汽，随后摇动开氏瓶，使混合均匀，再开电炉 5 和冷凝自来水。

8 用螺旋夹 9 调节蒸汽流速，使与蒸馏一致，蒸馏约 20min 后，用钠氏试剂检查蒸出液，如不显黄色，表示蒸馏完全。

9 先将缓冲管连同锥形瓶取下，用少量水冲洗缓冲管，洗入锥形瓶中，再关闭电炉 5、6 和冷凝水，然后用盐酸标准溶液滴定至溶液由蓝色变为淡紫红色为终点，记下用量。

10 于开氏瓶中加入同体积水和石蜡 2g，然后按第 6~9 款进行空白试验，记下盐酸标准溶液用量。

**35.0.6 试验结果应按下式计算：**

$$CEC (Nu_4^+) = (V - V_0) c (HCl) 1000 / m_0 \quad (35.0.6)$$

式中  $CEC (NH_4^+)$  ——阳离子交换量 (mmol/kg)，计算至 1mmol/kg；

$c (HCl)$  ——盐酸标准溶液浓度 (mol/L)；

$V$  ——盐酸标准溶液用量 (mL)；

$V_0$  ——空白试验盐酸标准溶液用量 (mL)；

$m_0$  ——风干试样质量 (g)。

**35.0.7 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 35.0.7 规定，取算术平均值。**

表 35.0.7 平行测定允许差值

阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg)	平行测定允许差值 (mmol/kg)
$CEC \leq 100$	6
$100 \leq CEC \leq 200$	8
$200 < CEC \leq 300$	10
$CEC > 300$	13

**35.0.8** 记录格式应符合表 35.0.8 的要求。

表 35.0.8 阳离子交换量记录

试样 编号	试样 质量 $m_0$ (g)	标准溶 液浓度 $c(\text{HCl})$ (mol/L)	HCl 滴定				计 算  $\text{CEC}(\text{NH}_4^+) = (V - V_0)c(\text{HCl}) \times 1000 / m_0$	试验结果	
			体 积	由	至	耗		$\text{CEC}(\text{NH}_4^+)$	平均
					(mL)				(mmol/kg)
			$V_0$						
			$V$						
			$V_0$						
			$V$						
			$V_0$						
			$V$						
			$V_0$						
			$V$						

复核                      年    月    日                      试验                      年    月    日

### 36 蒙脱石含量试验

**36.0.1** 本试验是根据蒙脱石定量吸附亚甲蓝的特性，定量加入过量亚甲蓝，然后以氯化亚锡（ $\text{SnCl}_2$ ）返滴定过量亚甲蓝来计算土中蒙脱石含量。

**36.0.2** 本试验适用于土中蒙脱石定量。试验用水和试剂应符合本规程第 1.0.3 条的规定。

### 36.0.3 本试验应采用下列仪器设备:

- 2 微量滴定管：容量 5~10mL，分度值 0.01mL。

3 半微量滴定管：容量 25~30mL，分度值 0.1mL。

4 其他设备：电炉、烘箱、称量瓶、干燥器、25mL 量筒、100mL 比色管、100mL 烧杯、10mL 移液管、150mL 锥形瓶、滴定台及滴定管夹。

#### 36.0.4 试剂配制应符合下列规定：

1 亚甲蓝标准溶液 (0.002g/mL)：称取预先在  $(90 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  干燥 7h 后，于干燥器中冷却至室温的亚甲蓝 2.0000g，使通过漏斗用水冲洗入 1L 容量瓶中，并稀释至刻度。

2 1%焦磷酸钠 ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) 溶液：溶解 1g ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) 于 100mL 水中。

3 盐酸  $c(\text{HCl})$  溶液：12mol/L、6mol/L。

4 5%  $\text{SnCl}_2$  贮备液：称取 ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 29.75g，使通过漏斗用 6mol/Lc (HCl) 溶液冲洗入 500mL 容量瓶中，并稀释至刻度，贮于棕色试剂瓶中，投入 1 粒锡，再用石蜡封盖液面，存于冰箱内备用。

5 0.1% $\text{SnCl}_2$  使用溶液：用移液管吸取 5%  $\text{SnCl}_2$  溶液 10mL 于 500mL 容量瓶中，用 6mol/Lc (HCl) 溶液稀释至刻度（此液应在滴定操作前临时配制）。

#### 36.0.5 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样按本规程第 3.4.2 条制备，称取过 0.25mm 孔筛的风干试样约 10g，置于称量瓶中，放在  $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干 8h。

2 取 150mL 烧杯 2 个，其中一个放入烘干试样 0.1000g，另一个为空白（不放试样），然后于两个烧杯中各加 1% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  15mL，水约 15mL，同时加热煮沸 5min，取下冷却。

3 将以上试样悬液和空白，分别移入 2 支比色管中，再用滴定管边滴加边搅拌，各加亚甲蓝标准溶液 15.0mL。均匀后，放置约 5~10min，（观察试样悬液管上部清液应呈蓝色，否则应再定量加亚甲蓝标准溶液，使上部清液保持呈蓝色），然后分别记下试样和空白亚甲蓝标准溶液用量。

4 将试样和空白两管均用水稀释至 100mL 刻度，搅拌均匀，放置 4h 以上使彻底分层。如果分层不彻底，应离心分离。

5 用移液管吸取试样和空白的上部清液各 10mL，分别放入 150mL 锥形瓶中，各加 12mol/Lc (HCL) 10mL。同时按第 36.0.3 条第 5 款配制 0.1% $\text{SnCl}_2$  使用溶液，置于微量滴定管中，分别滴定试样和空白至溶液由蓝色变为无色或呈微黄色为终点，记下 0.1% $\text{SnCl}_2$  溶液用量。本操作步骤从 0.1% $\text{SnCl}_2$  溶液配制至滴定



结束应控制在 0.5h 以内完成。操作环境温度以（5~20）℃为宜。

36.0.6 试验结果应按下式计算：

$$M=\frac{\left[V\left(MB\right)_s-V\left(\text{SnCl}_2\right)_s\cdot T\cdot \frac{V}{V_s}\right]\cdot \rho\left(MB\right)\times 100}{m_d\times 0.44}$$

(36.0.6)

式中

$M$

——

蒙脱石含量（%），计算至 0.1%；

$V$

——

试样悬液总体积（mL）；

$V_s$

——

滴定时吸取试样清液体积（mL）；

$T$

——

滴定度，即  $T=V\left(MB\right)_B/V\left(\text{SnCl}_2\right)_B$ ，其中  $V\left(MB\right)_B$  为空白亚甲蓝体积， $V\left(\text{SnCl}_2\right)_B$  为空白滴定  $\text{SnCl}_2$  用量；

$\rho\left(MB\right)$

——

亚甲蓝标准溶液浓度（g/mL）；

$V\left(MB\right)_s$

——

试样中加入亚甲蓝体积（mL）；

$V\left(\text{SnCl}_2\right)_s$

——

滴定消耗  $\text{SnCl}_2$  溶液的体积（mL）；

0.44

——

亚甲蓝对蒙脱石的换算因数；

$m_d$

——

干试样质量（g）。

36.0.7 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 36.0.7 的规定，取算术平均值。

表 36.0.7 平行测定允许差值

蒙脱石(M)含量 (%)	平行测定允许差值 (%)	蒙脱石(M)含量 (%)	平行测定允许差值 (%)
$M\leqslant 10$	1.0	$30<M\leqslant 50$	2.0
$10<M\leqslant 30$	1.5	$M>50$	2.5

36.0.8 记录格式应符合表 36.0.8 的要求。

表 36.0.8 蒙脱石含量试验记录

亚甲蓝标准溶液浓度 $\rho(MB)=$	空白中加亚甲蓝的体积 $V_B(MB)=$
试样与空白定容总体积 $V=$	空白中吸取溶液的体积 $V_B=$
试样总体积中吸取溶液体积 $V_s=$	
空白总体积中吸取亚甲蓝体积 $V(MB)_B=V_B(MB)\times V_B/V=$	
滴定度 $T=V(MB)_B/V(\text{SnCl}_2)_B=$	

试样 编号	烘干 试样 质量 $m_d$ (g)	试样中 加亚甲 蓝体积 $V(MB)_s$ (mL)	SnCl <sub>2</sub> 滴定				计 算		试验结果	
			体 积	由	至	耗	$M = \left[ V(MB)_s - V(SnCl_2)_s \cdot T \cdot \frac{V}{V_s} \right] \cdot \rho(MB) \times 100 / m_d \times 0.44$		M	平均
				(mL)					(%)	
			$V(SnCl_2)_B$							
			$V(SnCl_2)_s$							
			$V(SnCl_2)_B$							
			$V(SnCl_2)_s$							

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

试验\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

附录 A 量瓶校正与煤油密度的测定

- A.0.1 量瓶称量校正法应符合下列规定：
- 1 量瓶称量校正应采用下列仪器设备；

1) 量瓶：容积 50mL 或 100mL；

2) 天平：称量 200g，分度值 0.001g；

3) 恒温水槽：准确至±0.5℃；

4) 温度计：刻度范围 0～50℃，分度值 0.5℃；

5) 其他：滴管、干燥器、烘箱等。

2 量瓶称量校正应按下列步骤进行：

1) 将量瓶洗净，烘干，称量 2 次，准确至 0.001g。取其算术平均值，2 次称量差值不得大于 0.002g。

2) 将事先煮沸并冷却或真空抽气的纯水注入量瓶。对长颈量瓶达到刻度处为止；对短颈量瓶，注满水，塞紧瓶塞，多余水自瓶塞毛细管中溢出。将量瓶放入恒温水槽内直至瓶内水温稳定。取出量瓶，擦干外壁，称量瓶和水的总质量，准确至 0.001g。重复上述步骤进行第 2 次测定，取其算术平均值，其平行差值不得大于 0.002g。

3) 将恒温水槽内的水温以 5℃ 级差调节，逐级测定不同温度下的量瓶和水的总质量。

- 3 在直角坐标纸上，以温度为纵坐标，量瓶和水的总质量为横坐标，绘制温度与量瓶和水的总质量关系曲线，如图 A. 0. 1 所示。
- 4 量瓶称量校正记录应符合表 A. 0. 1 的要求。

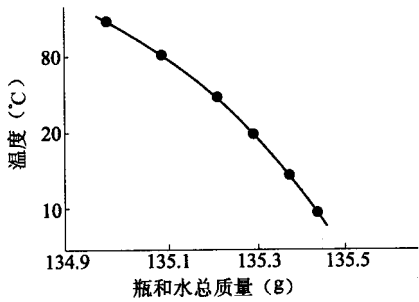


图 A. 0. 1 温度与量瓶和水的总质量关系曲线

表 A. 0. 1 量瓶称量校正法记录

瓶号	量瓶质量 (g)	
温度(℃)	量瓶与纯水(或煤油)总质量(g)	平均值(g)

复核\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日
 校正\_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

A. 0. 2 量瓶计算校正法应符合下列规定：

- 1 量瓶计算校正法采用的仪器设备除不需要恒温水槽外，其他应符合本附录 A. 0. 1 条第 1 款的要求。
- 2 量瓶计算校正法应按下列步骤进行：  
按本附录量瓶称量校正法称取量瓶质量及室温为了，时的量瓶和水的总质量。
- 3 不同温度时的量瓶和水的总质量应按下式计算：

$$m_i=m_0+（m_1-m_0）\frac{\rho_{wi}}{\rho_{wl}}+〔1+\epsilon_v（T_i-T_1）〕\tag{A. 0. 2}$$

式中  $m_i$ —— $T_i$ ℃时量瓶和水的总质量（g）；

$m_1$ —— $T_1$  °C时量瓶和水的总质量 (g);

$m_0$ ——量瓶的质量 (g);

$\rho_{w1}$ —— $T_1$ ℃时纯水的密度 (g/cm<sup>3</sup>), 查本规程表 7.3.4—3;

$\rho_{wi}$ —— $T_i$ ℃时纯水的密度 (g/ (cm<sup>3</sup>), 查本规程表 7.3.4—3;

$\epsilon_v$ ——玻璃膨胀系数平均值 ( $2.4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )。

4 温度与量瓶和水的总质量关系曲线按本附录 A.0.1 条第 3 款规定进行绘制。

5 量瓶计算校正法的记录格式应符合表 A. 0. 2 的要求。

表 A.0.2 量瓶计算校正法记录表

瓶号：	$T_1 =$	℃	$\rho_{w1} =$	$\text{g}/\text{cm}^3$						
瓶质量 $m_0 =$	$g$	$m_1 =$	$g$							
任意温度 $T_i$ (℃)	(1)		5	10	15	20	25	30	35	
温度差 $T_i - T_1$ (℃)	(2)	$(1) - T_1$								
$[1 + \epsilon_v (T_i - T_1)]$	(3)	$1 + \epsilon_v \times (2)$								
$T_i$ ℃时的水密度 $\rho_{wi}$ (g/cm <sup>3</sup> )	(4)									
$\rho_{wi} / \rho_{w1}$	(5)	$\frac{(4)}{\rho_{w1}}$								
$(m_1 - m_0) \times [\rho_{wi} / \rho_{w1} \times [1 + \epsilon_v (T_i - T_1)]]$	(6)	$(m_1 - m_0) \times (3) \times (5)$								
$m_i$ (g)	(7)	$(6) + m_0$								

复核                      年    月    日

校正                      年    月    日

**A.0.3** 量瓶和煤油总质量的校正，应将纯水换为经过真空抽气的煤油，其具体方法步骤应与 A.0.1 条相同。也可采用本附录 A.0.2 条计算法，但必须将式 (A.0.2) 中水的密度改为煤油密度。

**A.0.4** 煤油密度测定应符合下列规定:

1 将已称量的量瓶，装满经真空抽气的煤油，放入恒温水槽内，待瓶内温度保持稳定后取出（使多余煤油从瓶塞的毛细孔中溢出）。将瓶外壁擦干，称量瓶和煤油的总质量，准确至 0.001g，并记录煤油温度（ $T^{\circ}\text{C}$ ）。

2 用同一量瓶装满经真空抽气的纯水,控制同一温度( $T^{\circ}\text{C}$ ),重复本条第1款步骤操作,称量瓶和纯水的总质量,准确至0.001g。

3 煤油密度应按下式计算：

$$\rho_m = \frac{m_{pv} - m_p}{m_{pw} - m_p} \cdot \rho_{wT} \tag{A. 0. 4—1}$$

式中  $\rho_m$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 时煤油密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )，计算至  $0.001\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$m_{pv}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 时量瓶和煤油的总质量 ( $\text{g}$ )；

$m_{pw}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 时量瓶和纯水的总质量 ( $\text{g}$ )；

$m_p$ ——量瓶的质量 ( $\text{g}$ )；

$\rho_{wT}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 时纯水的密度，查本规程表 7. 3. 4—3。

4 煤油密度必须进行平行测定，平行测定的差值不得大于  $0.002\text{g}/\text{cm}^3$ ，取算术平均值。

5 由实测得  $T^{\circ}\text{C}$ 时煤油密度  $\rho_m$ ，用下式计算任意温度时的煤油密度：

$$\rho_{mi} = \rho_m [1 + \beta (T - T_i)] \tag{A. 0. 4—2}$$

式中  $\rho_{mi}$ —— $T_i^{\circ}\text{C}$ 时的煤油密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )，计算至  $0.001\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$\beta$ ——煤油密度的平均温度补正系数 ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )，由表 A. 0. 4 查得；

$T$ ——实测煤油密度时的温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$T_i$ ——任意温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

表 A. 0. 4 煤油密度的平均温度补正系数

$T^{\circ}\text{C}$ 时 $\rho_m(\text{g}/\text{cm}^3)$	$\beta(^{\circ}\text{C}^{-1})$	$T^{\circ}\text{C}$ 时 $\rho_m(\text{g}/\text{cm}^3)$	$\beta(^{\circ}\text{C}^{-1})$
0. 7700~0. 7799	$8. 05 \times 10^{-4}$	0. 8100~0. 8199	$7. 52 \times 10^{-4}$
0. 7800~0. 7899	$7. 92 \times 10^{-4}$	0. 8200~0. 8299	$7. 98 \times 10^{-4}$
0. 7900~0. 7999	$7. 78 \times 10^{-4}$	0. 8300~0. 8399	$7. 25 \times 10^{-4}$
0. 8000~0. 8099	$7. 65 \times 10^{-4}$		

## 附录 B 密度计校正

### B.0.1 密度计校正应包括下列内容：

1 土粒沉降距离校正：密度计读数不仅表示悬液密度，同时也由悬液面至密度计浮泡体积中心的距离来表示土粒的沉降深度。试验时，当密度计放入悬液后，液面随之升高，致使土粒沉降距离较实际为大，故在试验前应对密度计进行土粒沉降距离校正。

2 刻度及弯液面校正：密度计制造时，刻度不易准确，使用前必须进行校正。另外，密度计的刻度一般以弯液面的下缘为准，而试验时密度计读数是以弯液面的上缘为准，故应进行弯液面校正。刻度及弯液面校正可合并进行。

3 分散剂校正：密度计刻度是以纯水为标准的，当悬液中加入分散剂后，使悬液密度增大，故必须校正。

### B.0.2 土粒沉降距离校正应符合下列规定：

#### 1 仪器设备：

1) 密度计：甲种（刻度为 $-5\sim 50$ ，最小分度值为 1.0 或 0.5）；乙种（ $20^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$ 刻度为 0.995 $\sim 1.20$ ，最小分度值为 0.001 或 0.0002）。

2) 量筒：容量 1L（直径约 60mm，刻度精确至 10mL）；容积 250mL，最小分度值 1mL。

3) 直尺：长约  $(200\pm 1)$  mm。

4) 恒温水槽：精确为  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

5) 其他设备：密度计固定架，温度计。

#### 2 校正步骤：

1) 测定密度计浮泡体积：在 250mL 量筒内加入约 130mL 纯水，并保持水温为  $20^{\circ}\text{C}$ ，测定量筒内水面读数（以液面下缘为准）后划一标记，将密度计放入量筒中，使水面达密度计最低刻度处（以液面下缘为准），同时测记水面在量筒上的读数（以液面下缘为准）后再划一标记，两者之差即为密度计浮泡体积（ $V_b$ ）读数准确至 1mL。

2) 测定密度计浮泡体积中心：在测定浮泡体积  $V_b$  之后，将密度计向上缓缓

垂直提起使水面恰落至两标记的正中间，此时水面与浮泡相切处（以液面下缘为准），即为浮泡体积中心。将密度计固定在支架上，用直尺准确量出水面至密度计最低刻度的垂直距离（ $L_0$ ）。

- 3) 测定 1L 量筒内径，准确至 1mm，并算出量筒面积。
  - 4) 量出自密度计最低刻度至玻璃杆上各刻度处的距离（ $L_1$ ），每隔五格或十格测量一次，估读至 0.1mm。
- 3 土粒有效沉降距离按下式计算（见图 B. 0. 2）：

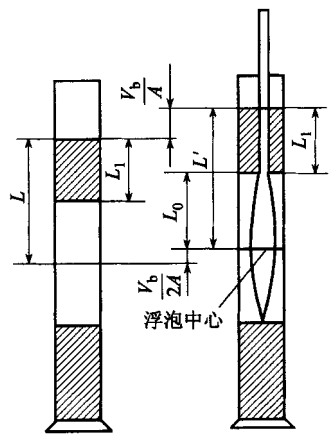


图 B. 0. 2 土粒沉降距离校正

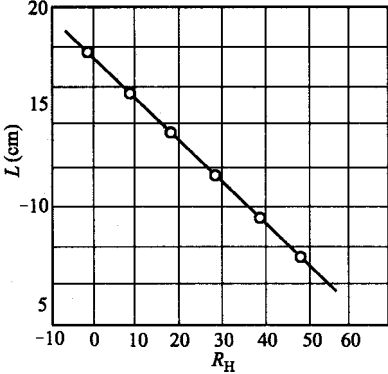
$$L=L_1+\frac{V_b}{L_0-2A} \tag{B. 0. 2}$$

式中  $L$ ——土粒有效沉降距离（cm）；  
 $L_1$ ——自最低刻度至玻璃杆上各刻度的距离（cm）；  
 $L_0$ ——密度计浮泡中心至最低刻度的距离（cm）；  
 $V_b$ ——密度计浮泡体积（ $\text{cm}^3$ ）；  
 $A$ ——1L 量筒的面积（ $\text{cm}^2$ ）。

- 4 土粒沉降距离校正计算表，应符合表 B. 0. 2—1 或表 B. 0. 2—2 的要求。

表 B. 0. 2—1 土粒沉降距离校正计算表

密度计编号 甲 1	1L 量筒编号 1 号
密度计浮泡体积( $V_b$ ) 86.0 $\text{cm}^3$	1L 量筒内径( $D$ ) 6.79cm
密度计浮泡中心至最低分度距离( $L_0$ ) 8.6cm	1L 量筒面积( $A$ ) 36.19 $\text{cm}^2$

$L=L_1+\left(L_0-\frac{V_b}{2A}\right)=L_1+7.41$				弯液面校正值( $n$ )	-1.2
密度计刻度	由最低分度至各分度距离	土粒有效沉降距离	密度计读数	 <p>密度计读数 <math>R_H</math>—土粒沉降距离 <math>L</math> 关系图</p>	
$R$	$L_1$	$L$	$R+n$		
	(cm)	(cm)			
0	10.58	17.99	-1.2		
10	8.41	15.82	8.8		
20	6.35	13.76	18.8		
30	4.22	11.63	28.8		
40	2.02	9.43	38.8		
50	0	7.41	48.8		

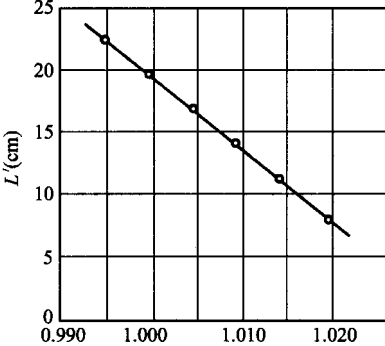
校正

计算

复核

校正日期

表 B. 0. 2—2 土粒沉降距离校正计算表

密度计编号		Z1		1L 量筒编号	9 号
密度计浮泡体积( $V_b'$ )		60.0cm <sup>3</sup>		1L 量筒直径( $D$ )	6.63cm
密度计浮泡中心至最低分度距离( $L_0'$ )		8.8cm		1L 量筒面积( $A$ )	34.52cm <sup>2</sup>
$L'=L_1'+\left(L_0'-\frac{V_b'}{2A}\right)=L_1'+7.931$				弯液面校正值( $n'$ )	-0.0004
密度计 刻 度	由最低分 度至各分 度距离	土粒有 效沉降 距 离	密度计 读 数	 <p>密度计读数 <math>R_H'</math>—土粒沉降距离 <math>L'</math> 关系图</p>	
$R'$	$L_1'$	$L'$	$R'+n'$		
	(cm)	(cm)			
0.955	14.180	22.411	0.9946		
1.000	11.651	19.582	0.9996		
1.005	8.759	16.690	1.0046		
1.010	5.863	13.794	1.0096		
1.015	2.910	10.841	1.0146		
1.020	0	7.931	1.0196		



B. 0. 3 刻度及弯液面校正应符合下列规定：

- 1 仪器设备：
- 1) 量瓶：容积 100mL。
- 2) 烧杯：容量 1000mL。
- 3) 电动搅拌器。
- 4) 分析天平：称量 100g，分度值 0. 1mg。
- 5) 无水氯化钠或密度为 1. 84g/cm<sup>3</sup> 的硫酸。
- 6) 其他设备同 B. 0. 2。

2 校正步骤：

1) 于 1L 烧杯中加入纯水 700mL，按表 B. 0. 3 中第（3）项规定的硫酸数量，用滴定管依次加入密度为 1. 84g/cm<sup>3</sup> 的硫酸于烧杯中，用玻棒搅拌均匀；或按表 B. 0. 3 中第 3 项规定称取化学纯氯化钠数量于 500mL 烧杯中，加纯水约 200mL，用玻棒搅拌至完全溶解。然后倒入 1L 量筒中并用纯水释释至刻度，另取一盛纯水的量筒以供清洗、存放密度计之用。

2) 将盛有标准溶液的量筒放入 20℃ 恒温水槽中，用搅拌器搅拌筒内溶液，待筒内温度达 20℃ 时，将擦干净的密度计依次放入各量筒中，以弯液面上缘为准读数，甲种密度计估读至 0. 1；乙种密度计估读至 0. 0001，每次读数后，取出密度计放入盛纯水的量筒中清洗。至少测记读数两次，取其平均值记入表 B. 0. 3 第（6）栏中。

表 B. 0. 3 刻度及弯液面校正计算表

20℃时密度 计刻度		20℃时 标准溶 液浓度	每升标准 溶液中所需的		试验 时 温度	由实测溶液密 度所计算的密 度计准确读数		校正时由密度 计测定的平均 读 数		刻度及弯 液面校正值	
甲 1	乙 1		NaCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		甲 1	乙 1	甲 1	乙 1	甲 1	乙 1
(g/L)	1	(g/mL)	(g)	(mL)	(℃)	(g/L)	1	(g/L)	1	(g/L)	1
(1)		(2)	(3)		(4)	(5)		(6)		(7)	
0	1. 000	0. 998232	0	0	20	0. 0	1. 0000	—1. 8	0. 9996	1. 8	0. 0004
5	1. 0031	1. 001349	4. 56	2. 5	20	5. 1	1. 0034	3. 0	1. 0030	2. 1	0. 0004

20℃时密度 计刻度		20℃时 标准溶 液浓度	每升标准 溶液中 所需的		试验 时 温度	由实测溶液密 度所计算的密 度计准确读数		校正时由密度 计测定的平均 读 数		刻度及弯 液面校正	
甲 1	乙 1		NaCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		甲 1	乙 1	甲 1	乙 1	甲 1	乙 1
(g/L)	1	(g/mL)	(g)	(mL)	(℃)	(g/L)	1	(g/L)	1	(g/L)	1
(1)		(2)	(3)		(4)	(5)		(6)		(7)	
10	1.0062	1.004465	8.94	4.9	20	9.7	1.0064	8.6	1.0059	1.1	0.0005
15	1.0094	1.007582	13.30	7.4	20	15.1	1.0096	12.9	1.0088	2.2	0.0008
20	1.0125	1.010698	17.79	9.8	20	20.0	1.0128	19.0	1.0120	1.0	0.0008
25	1.0256	1.013815	22.30	12.6	20	25.1	1.0158	23.2	1.0152	1.9	0.0006
30	1.0187	1.016931	26.73	15.5	20	30.1	1.0188	28.3	1.0180	1.8	0.0008
35	1.0219	1.020048	31.11	18.3	20	34.6	1.0220	33.5	1.0210	1.1	0.0010
40		1.023165	35.61	20.8	20	40.0		38.0		2.0	
45		1.025282	40.32	23.4	20	45.1		42.6		2.5	
50		1.029398	44.88	26.0	20	49.9		47.1		2.8	

3) 从量筒内取出一部分溶液，分别装满两个 100mL（或 50mL）的量瓶，放入恒温为 20℃ 的水槽内，待恒温后，塞好瓶塞，擦干量瓶，称量，精确至 0.0001g。

4) 倾去量瓶内溶液，洗净后装满纯水放入恒温 20℃ 水槽内，待恒温后，盖好瓶塞，擦干后称量，精确至 0.0001g。

3 标准溶液的密度按下式计算：

$$\rho=\frac{m_v}{m_w}\rho_w \tag{B.0.3—1}$$

式中  $\rho$ ——实测标准溶液的密度（g/cm<sup>3</sup>）；

$m_v$ ——量瓶内标准溶液在 20℃ 时的质量（g）；

$m_w$ ——量瓶内纯水在 20℃ 时的质量（g）；

$\rho_w$ ——4℃ 时水的密度（g/cm<sup>3</sup>）。

两个平行测定，偏差应不大于 0.0002，取其算术平均值。如超差，应从量筒内再取溶液重新测定。

4 甲种密度计准确读数  $R_{\text{甲}}$  按下式计算：

$$R_{\text{甲}} = \frac{(\rho/\rho_w - 1) \times 1000}{0.624413} = \left(\frac{\rho}{\rho_w} - 1\right) \times 1601.5041 \quad (\text{B. 0. 3—2})$$

乙种密度计准确读数等于标准溶液的密度（以 20℃ 为准）。

5 以表 B. 0. 3 第 (5) 栏由实测标准溶液密度所计算的密度计准确读数减校正时由密度计测的平均读数，即得刻度及弯液面的校正值。如减得的数为正，则校正值为正；如为负，则校正值为负。

6 以实测的密度计读数为横坐标，刻度及弯液面校正值为纵坐标，绘制刻度及弯液面校正曲线，见图 B. 0. 3—1 及图 B. 0. 3—2。

7 当密度计刻度准确度能满足甲种为 0. 5，乙种为 0. 0002 时，可不作刻度校正，仅作弯液面校正。即将密度计放于 20℃ 纯水的量筒中，求出弯液面上、下缘读数之差，此值即为弯液面校正值，见图 B. 0. 3—3。

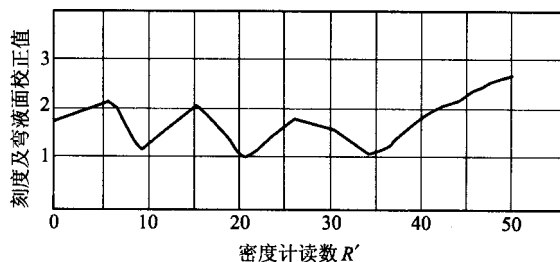


图 B. 0. 3—1 甲种密度计刻度及弯液面校正曲线

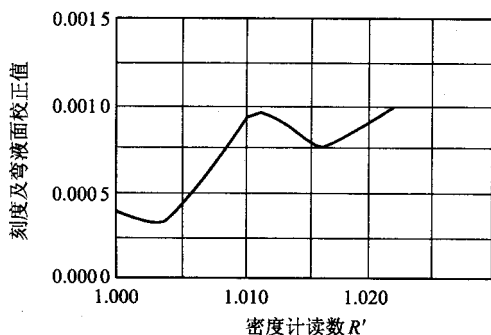


图 B. 0. 3—2 乙种密度计刻度及弯液面校正曲线

#### B. 0. 4 分散剂校正应符合下列规定：

##### 1 仪器设备

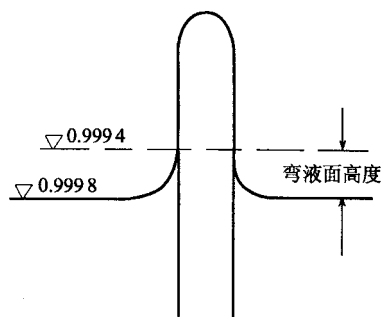


图 B. 0. 3—3 弯液面校正

- 1) 搅拌器：搅拌杆应高出量筒。
- 2) 分散剂：4%六偏磷酸钠。其他设备同 B. 0. 2。

## 2 校正步骤

1) 注适量纯水于 1L 量筒中，再加入用量与试验时相同的 4%六偏磷酸钠 ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> 溶液，然后用纯水稀释至刻度。

2) 放搅拌器于量筒内上、下搅拌均匀；另取一个 1L 量筒注纯水至刻度，两者同时放入恒温水槽中使至 20℃ 恒温。

3) 先将密度计放入纯水量筒中，测记密度计读数；取出密度计再放入加分散剂的量筒中，测记密度计读数，两者读数之差即为分散剂校正值。

## 3 分散剂校正值计算：

$$C_D = R_{D20} - R_{H20}$$

式中  $C_D$ ——分散剂校正值；

$R_{D20}$ ——加分散剂溶液密度计读数；

$R_{H20}$ ——纯水中密度计读数。

## 附录 C 直剪仪校正及测力计率定

### C. 0. 1 直剪仪校正应符合下列规定：

- 1 直剪仪应安置稳固，不得摇动或倾斜。
- 2 称垂直加压盘、加压框架、加压盖板、钢珠和透水石等总质量。
- 3 校正加压框架的竖杆，使两根竖杆在横梁间的长度相等。

- 4 上盒的传力凸嘴与测力计的着力点应保持良好的接触，不得扭斜或倾斜到边上。
- 5 所有滑动部分必须经常擦油，以保持灵活。
- 6 所用砝码应定期校正质量，准确至 0.1%。

**C.0.2 测力计率定应符合下列规定：**

- 1 测力计（量力环）从直剪仪上取下安装在校验加荷架上，将百分表调整为零。校验时所施加的负荷应沿测力计的轴线。加负荷时应平稳、无冲击。
- 2 将测力计施加标称负荷反复预压三次，调整好百分表，按校验点逐级进行加荷。
- 3 校验应从标称负荷的 10%左右开始。校验点不少于 8 点，加、卸负荷不少于 3 次。百分表的读数必须在指针静止时测读。
- 4 每次卸负荷后，百分表的回零差不得大于 0.3 分度。每次加荷前应将百分表调回到零位。
- 5 取各次校验中的加（卸）负荷时所得读数的算术平均值作为相应负荷的示值。
- 6 在直角坐标纸上，以荷重为纵坐标，百分表读数为横坐标，将各实测点联成通过坐标原点的直线，如图 C.0.2 所示。

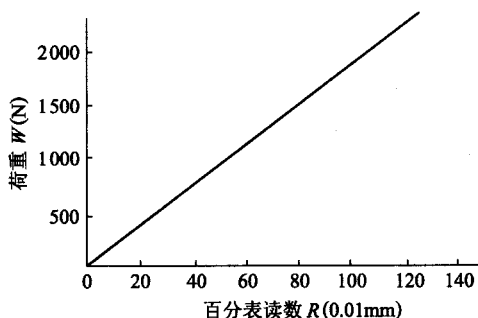


图 C.0.2 荷重与百分表读数关系曲线

- 7 测力计率定系数应按下式计算：

$$C = \frac{W}{R}$$

式中 C——率定系数 (N/0.01mm)；

W——垂直荷重 (N)；

R——百分表读数 (0.01mm)。

## 附录 D 固结仪的变形量校正

**D.0.1** 固结仪在负荷作用下，由于各部件的变形及各部件之间间隙的压紧等产生仪器变形，特别是对压缩系数较小的试样。仪器的压缩变形占土试样变形时的比例较大，会对压缩性指标带来较大的误差，故应进行固结仪的变形校正。

**D.0.2** 固结仪在使用过程中每年应校正一次。如在这段时间内，仪器零件和传压板、加压框架、透水板等的更换，或因搬迁、震动等影响，应随时予以校正。

**D.0.3** 固结仪加压设备的检查和调整应符合下列规定：

1 杠件加压座必须稳固，受压台面必须水平，加压框架的竖杆必须垂直，并不得与受压台面上的小孔接触，否则应进行修整。

2 用水平尺检查框架的横梁是否水平，如有倾斜现象，用横梁上的螺丝进行调整至水平位置，并使横梁凸头与受压台面间的距离恰好等于装好试样后的固结仪高度。也就是使传压活塞的凹部能与横梁的凸头密合。

**D.0.4** 固结仪变形量校正应符合下列规定：

1 以与试样等高、等直径的金属块代替土试样，并按本规程第 15.2.2 条第 2 款的规定安装容器及百分表。

2 按规定的加压等级每 10min 加荷一次，依次为 25、50、100、200、400、800kPa……。测记各级压力下的百分表读数。

3 将最大一级压力下的百分表读数记录后，再按与加压等级相反的次序，每 10min 卸荷一次，并测记相应百分表读数，直至压力完全卸除。

4 按固结试验步骤拆除仪器，再重新安装。重复上述步骤再进行测定。取其平均值作为各级压力下仪器的变形量，要求平行差值不得大于 0.01mm。

5 以固结仪变形量为纵坐标，压力为横坐标，绘制校正曲线，如图 D.0.4。

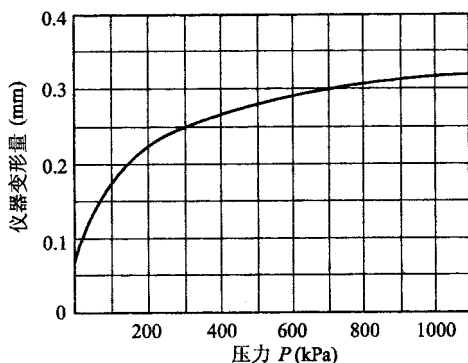


图 D.0.4 仪器变形量与压力关系曲线

## 附录 E $K_{30}$ 平板载荷试验仪校验方法

**E.0.1**  $K_{30}$  平板载荷试验仪在使用中应定期进行校验，以消除由于仪器自身系统液压阻力变化所引起的测量误差。通过校验测定出实际加载值或实际荷载板正应力值与系统压力表读数值之间的相关关系，建立其回归方程，并经整理绘制成图表，以作为  $K_{30}$  平板载荷试验的计算基础。

**E.0.2**  $K_{30}$  平板载荷试验仪校验的技术条件，应符合下列规定：

- 1 试验仪配置的压力表、百分表（或电子数显表）应定期送检进行计量标定。
- 2 试验仪液压系统应不渗漏油。
- 3 用于校验的压力支架或压力机的承载能力应大于 50kN。
- 4 用于校验的压力机的计量误差应小于 10N，压力传感器计量误差应小于 5N。

**E.0.3**  $K_{30}$  平板载荷试验仪的校验应采用以下两种方法：

- 1 测定实际加载值  $F$  与压力表读数值  $P_{\text{压}}$  之间的相关关系

1) 校验时，如图 E.0.3—1 所示，将  $K_{30}$  试验仪安放于压力支架或压力机上，其上端安置业已送检过的测力仪。

通过手动油泵对试验仪进行逐级增量加压直至加到预计的最大测量载荷为止，按表 E.0.3—1 记录每次增量加压后的测力仪和压力表的读数，反复进行三次，以求出每次增量平均值。

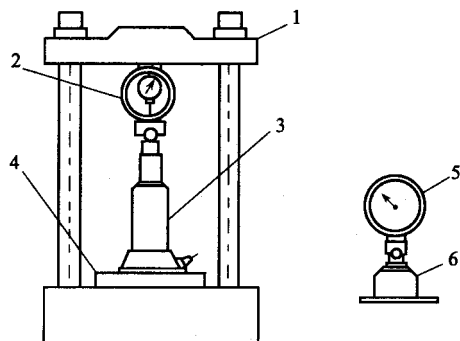


图 E. 0.3—1 校验方法 1 示意

1—支架；2—测力仪；3—千斤顶；4— $\phi 30$  荷载板；5—压力表；6—手动油泵

2) 整理校验数据后得出其回归方程为

$$F=BP_{\text{压}}+A \quad (\text{E. 0. 3—1})$$

式中  $F$ ——实际加载值 (kN)；

$P_{\text{压}}$ ——压力表读数 (MPa)；

$B$ ——斜率；

$A$ ——截距。

表 E. 0.3—1 校验方法 1 记录表

加载级数	测力仪示值(kN)				实际加载值 $F(\text{kN})$	压力表读数 $P_{\text{压}}(\text{MPa})$			
	1	2	3	平均		1	2	3	平均
1	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
2									
3									
4									
6									
7									
8									

校验员

核验员

校验日期

年 月 日

3) 在进行测试时,可根据式 (E. 0.3—1) 由  $P_{\text{压}}$  得出相对应的  $F$  值并按式 (E. 0.3—2) 计算出荷载板正应力  $\sigma$  值。

$$\sigma = (F+W) / A \quad (\text{E. 0. 3—2})$$



式中  $\sigma$ ——荷载板正应力 (MPa);

$W$ ——试验仪的基本重量 (kN);

$A$ —— $\phi 30\text{cm}$  荷载板面积, 为  $706.86\text{cm}^2$ 。

注: 试验仪的基本重量  $W$  包括千斤顶、荷载板及组装在板上的仪表支架等重量, 至于测试过程中在千斤顶上端增加的接杆重量, 由于已被相应增加的系统阻力所抵消, 故不予以考虑。

## 2 测定荷载板正应力 $\sigma$ 与压力表读数值 $P_{\text{压}}$ 之间的相关关系

1) 校验时, 如图 E. 0. 3—2 所示, 将  $K_{30}$  试验仪安放于压力支架或压力机上, 其下端安置业已送检过的压力传感器。通过手动油泵对试验仪进行逐级增量加压直至加到预计的最大测量载荷为止, 按表 E. 0. 3—2 记录每次增量加压后的压力传感器和压力表的读数, 反复进行三次, 以求出每次增量平均值。

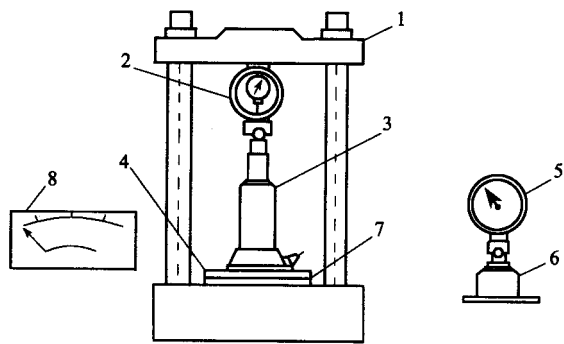


图 E. 0. 3—2 校验方法 2 示意

1—支架; 2—测力仪; 3—千斤顶; 4— $\phi 30$  荷载板; 5—压力表;  
6—手动油泵; 7—压力传感器; 8—传感器示值表

表 E. 0. 3—2 校验方法 2 记录表

加载级数	压力传感器示值(kN)				实际荷载板正应力值(MPa)	压力表读数值 $P_{\text{压}}$ (MPa)			
	1	2	3	平均		1	2	3	平均
1	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
2					0.04				
3					0.08				
4					0.12				

加载级数	压力传感器示值(kN)				实际荷载板正应力值(MPa)	压力表读数 P <sub>压</sub> (MPa)			
	1	2	3	平均		1	2	3	平均
5					0.16				
6					0.20				
7					0.24				
8					0.28				

校验员                      核验员                      校验日期      年    月    日

2) 整理校验数据后得出其回归方程为

$$\sigma=bP_{压}+a$$
 (E. 0. 3—3)

3) 在进行测试时，可根据式 (E. 0. 3—3) 由 P<sub>压</sub> 得出相对应的 σ 值。

**E. 0. 4** K<sub>30</sub> 平板载荷试验仪校验周期：在新仪器使用的前三个月内，应每月校验标定一次，以作出相应的误差修正，当三次标定的误差小于±5，即认为仪器已进入稳定期，但仪器每次投入新工点使用前或每年必须予以校验一次。

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

- (1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”；  
反面词采用“严禁”。
- (2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：  
正面词采用“应”；  
反面词采用“不应”或“不得”。
- (3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：  
正面词采用“宜”；  
反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。