

中华人民共和国国家标准

GB/T50123-1999

土工试验方法标准

Standard for soil test method

主编部门：中华人民共和国水利部

批准部门：中华人民共和国建设部

1999-06-10发布

1999-10-01实施

国家 质量技术监督局
中华人民共和国建设部 联合发布

中国计划出版社
1999 北 京

关于发布国家标准 《土工试验方法标准》的通知

建标[1999]148号

根据国家计委《一九九四年工程建设标准定额制订修订计划》(计综合[1994]240号文附件九)的要求,由水利部会同有关部门共同修订的《土工试验方法标准》,经有关部门会审,批准为推荐性国家标准,编号为GB/T 50123—1999,自1999年10月1日起施行,原国家标准《土工试验方法标准》GBJ123—88同时废止。

本标准由水利部负责管理,南京水利科学研究院负责具体解释工作,建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
一九九九年六月十日

前 言

本标准是根据国家计委计综合[1994]240号文的精神,由南京水利科学研究院会同有关单位,在1988年颁布的国家标准《土工试验方法标准》GBJ123—88基础上修订而成。

本标准在修订过程中,收集了国内外资料,反复进行研究讨论,并结合国内工程发展需要,在此基础上提出了讨论稿、征求意见稿,广泛征求意见后,经多次修改提出送审稿,最后通过专家审查定稿。

本标准共分三十五章四个附录,对原标准作了补充和修改,较原标准增加七项试验和一个方法,主要内容有:

1. 根据国家法定计量单位的规定,对部分名词和化学性试验的计量单位进行了修改,增列了术语、符号一章。

2. 物理性试验项目中,对部分试验方法作了补充和修改,例如含水率试验中增补了冻土含水率的测定、颗粒分析试验中增加了洗盐步骤等。

3. 力学性试验项目中除对部分试验作了补充外,增加了回弹模量试验、应变控制连续加荷固结试验(GBJ123—88颁布后的课题研究成果)。对承载比试验、黄土湿陷性试验和土的化学性试验等在方法上作了较大的修改。

4. 增加了冻土试样的物理性试验,包括冻土密度试验、冻结温度试验、未冻含水率试验、导热系数试验、冻胀量试验和冻土融化压缩试验。

5. 每项试验附记录表列入附录D。

在附录中列入了试验资料的整理和试验报告;土样要求和管理;室内土工仪器的通用要求,以保证试验数据的准确可靠。附录D为各项试验记录表,以供参考。

本标准由水利部负责管理,南京水利科学研究院负责具体解释工作。希望各单位在使用过程中注意积累经验,并将建议和意见寄往南京水利科学研究院(地址:南京市广州路223号;邮编210029),以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参加单位和主要起草人:

主编单位:南京水利科学研究院

参加单位:铁道部第一勘测设计院

中国科学院兰州冰川冻土研究所

水利部东北勘测设计院

中国建筑科学研究院

交通部公路科学研究所

主要起草人:盛树馨 吴连荣 徐敦祖 徐伯孟 阎明礼 饶鸿雁 陶秀珍

1 总 则

- 1.0.1 为了测定土的基本工程性质，统一试验方法，为工程设计和施工提供可靠的参数，特制订本标准。
- 1.0.2 本标准适用于工业和民用建筑、水利、交通等各类工程的地基土及填筑土料的基本工程性质试验。
- 1.0.3 本标准中仅将土分为粗粒土和细粒土两类，土的名称，应根据现行国家标准《土的分类标准》GBJ 145确定。
- 1.0.4 土工试验资料的整理，应通过对样本(试验测得的数据)的研究来估计土体单元特征及其变化的规律，使土工试验的成果为工程设计和施工提供准确可靠的土性指标。试验成果的分析整理应按附录A进行。
- 1.0.5 土工试验所用的仪器、设备应按现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T15406采用，并定期按现行有关规程进行检定和校准。
- 1.0.6 土工试验方法除应遵守本标准外，尚应符合有关现行强制性国家标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

- 2.1.1 酸碱度 acidity and alkalinity
溶液中氢离子浓度的负对数。
- 2.1.2 校准 calibration
在规定条件下，为确定计量仪器或测量系统的示值或实物量具所代表的值与相对应的被测量的已知值之间关系的一组操作。
- 2.1.3 有效应力路径 effective stress path
在土体的加压过程中，体内某平面上有效应力变化的轨迹。
- 2.1.4 冻结温度 freezing temperature
土中孔隙水发生冻结的最高温度。
- 2.1.5 测力计 load meter
强度试验时所用的钢环或负荷传感器。
- 2.1.6 荷载率 load rate
某级荷载增量与前一级荷载总量之比。
- 2.1.7 平行测定 Parallel measure
在相同条件下，采用二个以上试样同时进行试验。
- 2.1.8 抗剪强度参数 parameter of shear strength
表征土体抗剪性能的指标，包括粘聚力和内摩擦角。
- 2.1.9 纯水 pure water
脱气水和离子交换水。
- 2.1.10 土试样 soil specimen
用于试验的具有代表性的土样。
- 2.1.11 饱和土 saturation soil
孔隙体积完全被水充满的土样。
- 2.1.12 悬液 suspension
土粒与水的混合液。
- 2.1.13 试验 test
按照规定的程序为给定的试样测试一种或多种特性的技术操作。
- 2.1.14 导热系数 thermal conductivity

表示土体导热能力的指标。

2.1.15 融化压缩系数 thaw compressibility coefficient

冻土融化后，在单位压力作用下产生的相对压缩变形量。

2.1.16 融化下沉系数 thaw—settlement coefficient

冻土融化过程中，在自重压力作用下产生的相对下沉量。

2.1.17 未冻含水率 unfrozen—water content

在一定负温下，冻土中未冻水的质量与干土质量之比，以百分数表示。

2.1.18 检定 verification

通过检测，提供证明来确认满足规定的要求。

2.2 符 号

2.2.1 尺寸和时间

A——试样断面积

d——土颗粒直径

t——时间

D——试样的平均直径

h——试样高度

V——试样体积

2.2.2 物理性指标

C_c ——曲率系数

D_r ——相对密度

G_s ——土粒比重

I_p ——塑性指数

——含水率

p ——塑限

——试样密度

C_u ——不均匀系数

e——孔隙比

I_L ——液性指数

S_r ——饱和度

L ——液限

n ——缩限

2.2.3 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

C_c ——压缩指数

C_v ——固结系数

c——粘聚力

E_s ——压缩模量

m——试样质量

p——单位压力

p_e ——膨胀力

q_u ——无侧限抗压强度

S_i ——单位沉降量

S_t ——灵敏度

s ——湿陷系数

e_f ——自由膨胀率

w_t ——溶滤湿陷系数

σ_a ——轴向应变

f ——冻胀率

σ' ——有效应力

——内摩擦角

a_{tc} ——融化压缩系数

B——孔隙水压力系数

C_s ——回弹指数

CBR——承载比

E_e ——回弹模量

k——渗透系数

m_v ——体积压缩系数

p_c ——先期固结压力

Q——渗水量

S——抗剪强度

s_r ——土的残余强度

u——孔隙水压力

e ——无荷载膨胀率

e_p ——有荷载膨胀率

z_s ——自重湿陷系数

——动力粘滞系数

——正应力

——剪应力

n ——收缩系数

2.2.4 热学指标

T——温度

——导热系数

2.2.5 化学指标

B_b ——质量摩尔浓度

C_b ——浓度

M_b ——摩尔质量

n ——物质的量

O_m ——有机质

pH——酸碱度

V_n ——摩尔体积

W——易溶盐含量

n ——质量浓度

3 试样制备和饱和

3.1 试样制备

3.1.1 本试验方法适用于颗粒粒径小于60mm的原状土和扰动土。

3.1.2 根据力学性质试验项目要求，原状土样同一组试样间密度的允许差值为 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ；扰动土样同一组试样的密度与要求的密度之差不得大于 $\pm 0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ，一组试样的含水率与要求的含水率之差不得大于 $\pm 1\%$ 。

3.1.3 试样制备所需的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 细筛：孔径0.5mm、2mm。

2 洗筛：孔径0.075mm。

3 台秤和天平：称量10kg，最小分度值5g；称量5000g，最小分度值1g；称量1000g，最小分度值0.5g；称量500g，最小分度值0.1g；称量200g，最小分度值0.01g。

4 环刀：不锈钢材料制成，内径61.8mm和79.8mm，高20mm；内径61.8mm，高40mm。

5 击样器：如图3.1.3—1所示。

6 压样器：如图3.1.3—2所示。

7 抽气设备：应附真空表和真空缸。

8 其他：包括切土刀、钢丝锯、碎土工具、烘箱、保湿缸、喷水设备等。

3.1.4 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，剥去蜡封和胶带，开启土样筒取出土样。检查土样结构，当确定土样已受扰动或取土质量不符合规定时，不应制备力学性质试验的试样。

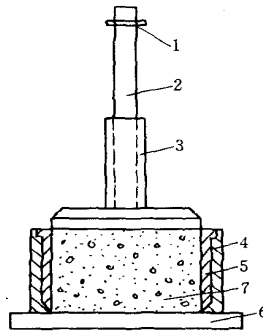


图 3.1.3-1 击样器

1—定位环；2—导杆；3—击锤；4—击样筒；
5—环刀；6—底座；7—试样

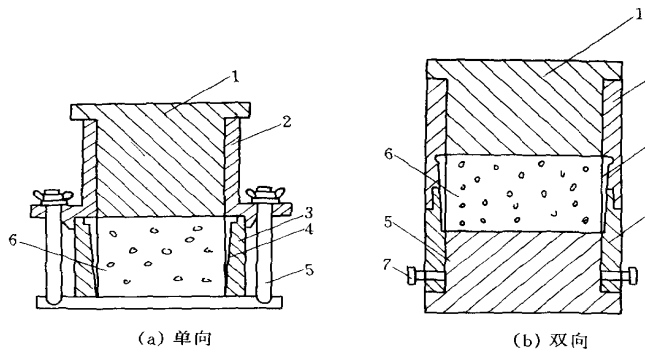


图 3.1.3-2 压样器

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

2 根据试验要求用环刀切取试样时，应在环刀内壁涂一薄层凡士林，刃口向下放在土样上，将环刀垂直下压，并用切土刀沿环刀外侧切削土样，边压边削至土样高出环刀，根据试样的软硬采用钢丝锯或切土刀整平环刀两端土样，擦净环刀外壁，称环刀和土的总质量。

3 从余土中取代表性试样测定含水率。比重、颗粒分析、界限含水率等项试验的取样，应按本标准第3.1.5条2款步骤的规定进行。

4 切削试样时，应对土样的层次、气味、颜色、夹杂物、裂缝和均匀性进行描述，对低塑性和高灵敏度的软土，制样时不得扰动。

3.1.5 扰动土试样的备样，应按下列步骤进行：

1 将土样从土样筒或包装袋中取出，对土样的颜色、气味、夹杂物和土类及均匀程度进行描述，并将土样切成碎块，拌和均匀，取代表性土样测定含水率。

2 对均质和含有机质的土样，宜采用天然含水率状态下代表性土样，供颗粒分析、界限含水率试验。对非均质土应根据试验项目取足够数量的土样，置于通风处凉干至可碾散为止。对砂土和进行比重试验的土样宜在105~110 温度下烘干，对有机质含量超过5%的土、含石膏和硫酸盐的土，应在65~70 温度下烘干。

3 将风干或烘干的土样放在橡皮板上用木碾碾散，对不含砂和砾的土样，可用碎土器碾散(碎土器不得将土粒破碎)。

4 对分散后的粗粒土和细粒土，应按本标准表B.0.1的要求过筛。对含细粒土的砾质土，应先用水浸泡并充分搅拌，使粗细颗粒分离后按不同试验项目的要求进行过筛。

3.1.6 扰动土试样的制样，应按下列步骤进行：

1 试样的数量视试验项目而定，应有备用试样1~2个。

2 将碾散的风干土样通过孔径2mm或5mm的筛，取筛下足够试验用的土样，充分拌

匀，测定风干含水率，装入保湿缸或塑料袋内备用。

3 根据试验所需的土量与含水率，制备试样所需的加水量应按下列式计算：

$$m_w = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} \times 0.01(w_1 - w_0) \quad (3.1.6-1)$$

式中 m_w ——制备试样所需要的加水量(g)；

m_0 ——湿土(或风干土)质量(g)；

w_0 ——湿土(或风干土)含水率(%)；

w_1 ——制样要求的含水率(%)。

4 称取过筛的风干土样平铺于搪瓷盘内，将水均匀喷洒于土样上，充分拌匀后装入盛土容器内盖紧，润湿一昼夜，砂土的润湿时间可酌减。

5 测定润湿土样不同位置处的含水率，不应少于两点，含水率差值应符合本标准第3.1.2条的规定。

6 根据环刀容积及所需的干密度，制样所需的湿土量应按下列式计算：

$$m_0 = (1 + 0.01w_0) \rho_d V \quad (3.1.6-2)$$

式中： ρ_d ——试样的干密度(g/cm³)；

V ——试样体积(环刀容积)(cm³)。

7 扰动土制样可采用击样法和压样法。

1) 击样法：将根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土倒入装有环刀的击样器内，击实到所需密度。

2) 压样法：将根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土倒入装有环刀的压样器内，以静压力通过活塞将土样压紧到所需密度。

8 取出带有试样的环刀，称环刀和试样总质量，对不需要饱和，且不立即进行试验的试样，应存放在保湿器内备用。

3.2 试样饱和

3.2.1 试样饱和宜根据土样的透水性能，分别采用下列方法：

1 粗粒土采用浸水饱和法。

2 渗透系数大于10⁻⁴cm/s的细粒土，采用毛细管饱和法；渗透系数小于、等于10⁻⁴cm/s的细粒土，采用抽气饱和法。

3.2.2 毛细管饱和法，应按下列步骤进行：

1 选用框式饱和器(图3.2.4—1b)，试样上、下面放滤纸和透水板，装入饱和器内，并旋紧螺母。

2 将装好的饱和器放入水箱内，注入清水，水面不宜将试样淹没，关箱盖，浸水时间不得少于两昼夜，使试样充分饱和。

3 取出饱和器，松开螺母，取出环刀，擦干外壁，称环刀和试样的总质量，并计算试样的饱和度。当饱和度低于95%时，应继续饱和。

3.2.3 试样的饱和度应按下列式计算：

$$S_r = \frac{(w_{sr} - w_d)G_s}{w_d \cdot e} \quad (3.2.3-1)$$

或

$$S_r = \frac{w_{sr} G_s}{e} \quad (3.2.3-2)$$

式中 S_r ——试样的饱和度(%)

w_{sr} ——试样饱和后的含水率(%)；

- ρ_{sr} ——试样饱和后的密度(g/cm^3)；
- G_s ——土粒比重；
- e ——试样的孔隙比。

3.2.4 抽气饱和法，应按下列步骤进行：

1 选用叠式或框式饱和器(图3.2.4—1)和真空饱和装置(图3.2.4—2)。在叠式饱和器下夹板的正中，依次放置透水板、滤纸、带试样的环刀、滤纸、透水板，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，拧紧拉杆上端的螺母，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，真空缸和盖之间涂一薄层凡士林，盖紧。将真空缸与抽气机接通，启动抽气机，当真空压力表读数接近当地一个大气压力值时(抽气时间不少于1h)，微开管夹，使清水徐徐注入真空缸，在注水过程中，真空压力表读数宜保持不变。

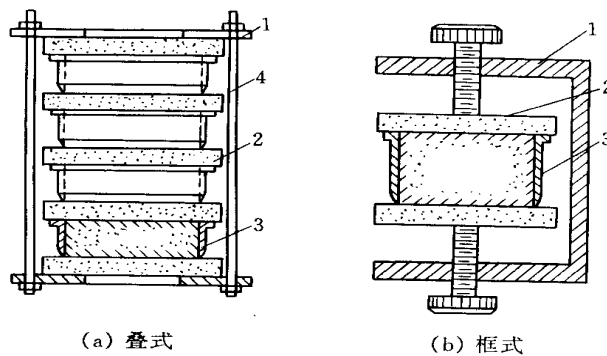


图 3.2.4-1 饱和器

1 夹板；2—透水板；3—环刀；4—拉杆

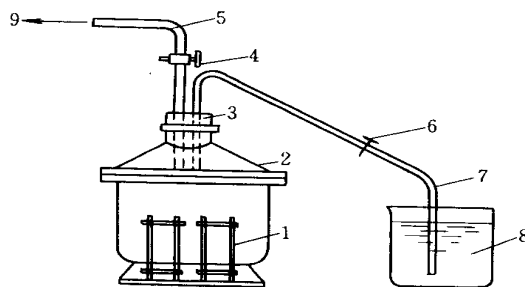


图 3.2.4-2 真空饱和装置

1—饱和器；2—真空缸；3—橡皮塞；4—三通阀；5—排气管；
6—管夹；7—引水管；8—盛水器；9—接抽气机

3 待水淹没饱和器后停止抽气。开管夹使空气进入真空缸，静止一段时间，细粒土宜为10h，使试样充分饱和。

4 打开真空缸，从饱和器内取出带环刀的试样，称环刀和试样总质量，并按本标准式(3.2.3)计算饱和度。当饱和度低于95%时，应继续抽气饱和。

4 含水率试验

4.0.1 本试验方法适用于粗粒土、细粒土、有机质土和冻土。

4.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 电热烘箱：应能控制温度为105～110。
- 2 天平：称量200g，最小分度值0.01g；称量1000g，最小分度值0.1g。

4.0.3 含水率试验，应按下列步骤进行：

1 取具有代表性试样15~30g或用环刀中的试样,有机质土、砂类土和整体状构造冻土为50g,放入称量盒内,盖上盒盖,称盒加湿土质量,准确至0.01g。

2 打开盒盖,将盒置于烘箱内,在105~110 的恒温下烘至恒量。烘干时间对粘土、粉土不得少于8h,对砂土不得少于6h,对含有机质超过干土质量5%的土,应将温度控制在65~70 的恒温下烘至恒量。

3 将称量盒从烘箱中取出,盖上盒盖,放入干燥容器内冷却至室温,称盒加干土质量,准确至0.01g。

4.0.4 试样的含水率,应按下式计算,准确至0.1%。

$$w_0 = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (4.0.4)$$

式中: m_d ——干土质量(g);

m_0 ——湿土质量(g)。

4.0.5 对层状和网状构造的冻土含水率试验应按下列步骤进行:用四分法切取200—500g试样(视冻土结构均匀程度而定,结构均匀少取,反之多取)放入搪瓷盘中,称盘和试样质量,准确至0.1g。

待冻土试样融化后,调成均匀糊状(土太湿时,多余的水分让其自然蒸发或用吸球吸出,但不得将土粒带出;土太干时,可适当加水),称土糊和盘质量,准确至0.1g。从糊状土中取样测定含水率,其试验步骤和计算按本标准第4.0.3、4.0.4条进行。

4.0.6 层状和网状冻土的含水率,应按下式计算,准确至0.1%。

$$w = \left[\frac{m_1}{m_2} (1 + 0.01w_h) - 1 \right] \times 100 \quad (4.0.6)$$

式中: w ——含水率(%);

m_1 ——冻土试样质量(g);

m_2 ——糊状试样质量(g);

w_h ——糊状试样的含水率(%)。

4.0.7 本试验必须对两个试样进行平行测定,测定的差值:当含水率小于40%时为1%;当含水率等于、大于40%时为2%,对层状和网状构造的冻土不大于3%。取两个测值的平均值,以百分数表示。

4.0.8 含水率试验的记录格式见附录D表D—1。

5 密度试验

5.1 环刀法

5.1.1 本试验方法适用于细粒土。

5.1.2 本试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

1 环刀:内径61.8mm和79.8mm,高度20mm。

2 天平:称量500g,最小分度值0.1g;称量200g,最小分度值0.01g。

5.1.3 环刀法测定密度,应按本标准第3.1.4条2款的步骤进行。

5.1.4 试样的湿密度,应按下式计算:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (5.1.4)$$

式中: ρ_0 ——试样的湿密度(g/cm^3),准确到0.01 g/cm^3 。

5.1.5 试样的干密度,应按下式计算:

$$d = \frac{0}{1 + 0.01w_0} \quad (5.1.5)$$

5.1.6 本试验应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取两次测值的平均值。

5.1.7 环刀法试验的记录格式见附录D表D—2。

5.2 蜡 封 法

5.2.1 本试验方法适用于易破裂土和形状不规则的坚硬土。

5.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 蜡封设备：应附熔蜡加热器。
- 2 天平：应符合本标准第5.1.2条2款的规定。

5.2.3 蜡封法试验，应按下列步骤进行：

1 从原状土样中，切取体积不小于 30cm^3 的代表性试样，清除表面浮土及尖锐棱角，系上细线，称试样质量，准确至 0.01g 。

2 持线将试样缓缓浸入刚过熔点的蜡液中，浸没后立即提出，检查试样周围的蜡膜，当有气泡时应用针刺破，再用蜡液补平，冷却后称蜡封试样重量。

3 将蜡封试样挂在天平的一端，浸没于盛有纯水的烧杯中，称蜡封试样在纯水中的质量，并测定纯水的温度。

4 取出试样，擦干蜡面上的水分，再称蜡封试样质量。当浸水后试样质量增加时，应另取试样重做试验。

5.2.4 试样的密度，应按下式计算：

$$\rho = \frac{m_0}{\frac{m_n - m_{nw}}{\rho_{wT}} - \frac{m_n - m_0}{\rho_N}} \quad (5.2.4)$$

式中： m_n —— 蜡封试样质量(g)；

m_{nw} —— 蜡封试样在纯水中的质量(g)；

ρ_{wT} —— 纯水在T 时的密度(g/cm^3)；

ρ_N —— 蜡的密度(g/cm^3)。

5.2.5 试样的干密度，应按式(5.1.5)计算。

5.2.6 本试验应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取两次测值的平均值。

5.2.7 蜡封法试验的记录格式见附录D表D—3。

5.3 灌 水 法

5.3.1 本试验方法适用于现场测定粗粒土的密度。

5.3.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 储水筒：直径应均匀，并附有刻度及出水管。
- 2 台秤：称量 50kg ，最小分度值 10g 。

5.3.3 灌水法试验，应按下列步骤进行：

- 1 根据试样最大粒径，确定试坑尺寸见表5.3.3

表5.3.3 试坑尺寸(mm)

试样最大粒径	试坑尺寸	
	直径	深度
5 (20)	150	200
40	200	250
60	250	300

2 将选定试验处的试坑地面整平，除去表面松散的土层。

3 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，称试样质量，准确到10g，并应测定试样的含水率。

4 试坑挖好后，放上相应尺寸的套环，用水准尺找平，将大于试坑容积的塑料薄膜袋平铺于坑内，翻过套环压住薄膜四周。

5 记录储水筒内初始水位高度，拧开储水筒出水管开关，将水缓慢注入塑料薄膜袋中。当袋内水面接近套环边缘时，将水流调小，直至袋内水面与套环边缘齐平时关闭出水管，持续3—5min，记录储水筒内水位高度。当袋内出现水面下降时，应另取塑料薄膜袋重做试验。

5.3.4 试坑的体积，应按下式计算：

$$V_p = (H_1 - H_2) \times A_w - V_0 \quad (5.3.4)$$

式中： V_p ——试坑体积(cm^3)；

H_1 ——储水筒内初始水位高度(cm)；

H_2 ——储水筒内注水终了时水位高度(cm)；

A_w ——储水筒断面积(cm^2)；

V_0 ——套环体积(cm^3)。

5.3.5 试样的密度，应按下式计算：

$$\rho = \frac{m_p}{V_p} \quad (5.3.5)$$

式中： m_p ——取自试坑内的试样质量(g)。

5.3.6 灌水法试验的记录格式见附录D表D—4

5.4 灌砂法

5.4.1 本试验方法适用于现场测定粗粒土的密度。

5.4.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 密度测定器：由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成(图5.4.2)。灌砂漏斗高135mm、直径165 mm，尾部有孔径为13 mm的圆柱形阀门；容砂瓶容积为4L，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。

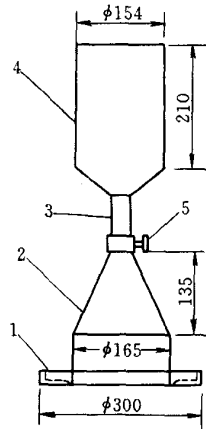


图 5.4.2 密度测定器

1—底盘;2—灌砂漏斗;3—螺纹接头;4—容砂瓶;5—阀门

2 天平：称量10kg，最小分度值5g，称量500g，最小分度值0.1g。

5.4.3 标准砂密度的测定，应按下列步骤进行：

1 标准砂应清洗洁净，粒径宜选用0.25～0.50mm，密度宜选用1.47～1.61 g/cm³。

2 组装容砂瓶与灌砂漏斗，螺纹联接处应旋紧，称其质量。

3 将密度测定器竖立，灌砂漏斗口向上，关阀门，向灌砂漏斗中注满标准砂，打开阀门使灌砂漏斗内的标准砂漏入容砂瓶内，继续向漏斗内注砂漏入瓶内，当砂停止流动时迅速关闭阀门，倒掉漏斗内多余的砂，称容砂瓶、灌砂漏斗和标准砂的总质量，准确至5g。试验中应避免震动。

4 倒出容砂瓶内的标准砂，通过漏斗向容砂瓶内注水至水面高出阀门，关阀门，倒掉漏斗中多余的水，称容砂瓶、漏斗和水的总质量，准确到5g，并测定水温，准确到0.5。重复测定3次，3次测值之间的差值不得大于3mL，取3次测值的平均值。

5.4.4 容砂瓶的容积，应按下列式计算：

$$V_r = (m_{r2} - m_{r1}) / \rho_{wr} \quad (5.4.4)$$

式中： V_r ——容砂瓶容积(mL)；

m_{r2} ——容砂瓶、漏斗和水的总质量(g)；

m_{r1} ——容砂瓶和漏斗的质量(g)；

ρ_{wr} ——不同水温时水的密度(g/cm³)，查表5.4.4。

表5.4.4 水的密度

温 度 ()	水的密度 (g/cm ³)	温 度 ()	水的密度 (g/cm ³)	温 度 ()	水的密度 (g/cm ³)
4.0	1.0000	15.0	0.9991	26.0	0.9968
5.0	1.0000	16.0	0.9989	27.0	0.9965
6.0	0.9999	17.0	0.9988	28.0	0.9962
7.0	0.9999	18.0	0.9986	29.0	0.9959
8.0	0.9999	19.0	0.9984	30.0	0.9957
9.0	0.9998	20.0	0.9982	31.0	0.9953
10.0	0.9997	21.0	0.9980	32.0	0.9950
11.0	0.9996	22.0	0.9978	33.0	0.9947
12.0	0.9995	23.0	0.9975	34.0	0.9944
13.0	0.9994	24.0	0.9973	35.0	0.9940
14.0	0.9992	25.0	0.9970	36.0	0.9937

5.4.5 标准砂的密度，应按下式计算：

$$\rho_s = \frac{m_{rs} - m_{r1}}{V_r} \quad (5.4.5)$$

式中： ρ_s ——标准砂的密度(g/cm³)；

m_{rs} ——容砂瓶、漏斗和标准砂的总质量(g)。

5.4.6 灌砂法试验，应按下列步骤进行：

1 按本标准第5.3.3条1—3款的步骤挖好规定的试坑尺寸，并称试样质量。

2 向容砂瓶内注满砂，关阀门，称容砂瓶，漏斗和砂的总质量，准确至10g。

3 将密度测定器倒置(容砂瓶向上)于挖好的坑口上，打开阀门，使砂注入试坑。在注砂过程中不应震动。当砂注满试坑时关闭阀门，称容砂瓶、漏斗和余砂的总质量，准确至10g，并计算注满试坑所用的标准砂质量。

5.4.7 试样的密度，应按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_p}{m_s} \quad (5.4.7)$$

式中： m_s ——注满试坑所用标准砂的质量(g)。

5.4.8 试样的干密度，应按下式计算，准确至0.01 g/cm³。

$$\rho_d = \frac{m_p}{\frac{1 + 0.01w_1}{m_s}} \quad (5.4.8)$$

5.4.9 灌砂法试验的记录格式见附录D表D—5。

6 土粒比重试验

6.1 一般规定

6.1.1 对小于、等于和大于5mm土颗粒组成的土，应分别采用比重瓶法、浮称法和虹吸管法测定比重。

6.1.2 土颗粒的平均比重，应按下式计算：

$$G_{sm} = \frac{1}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}}} \quad (6.1.2)$$

- 式中： G_{sm} ——土颗粒平均比重；
 G_{s1} ——粒径大于、等于5mm的土颗粒比重；
 G_{s2} ——粒径小于5mm的土颗粒比重；
 P_1 ——粒径大于、等于5mm的土颗粒质量占试样总质量的百分比(%)；
 P_2 ——粒径小于5mm的土颗粒质量占试样总质量的百分比(%)。

6.1.3 本试验必须进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于0.02，取两次测值的平均值。

6.2 比重瓶法

6.2.1 本试验方法适用于粒径小于5mm的各类土。

6.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 比重瓶：容积100mL或50mL，分长颈和短颈两种。
- 2 恒温水槽：准确度应为 ± 1 。
- 3 砂浴：应能调节温度。
- 4 天平：称量200g，最小分度值0.001g。
- 5 温度计：刻度为0~50，最小分度值为0.5。

6.2.3 比重瓶的校准，应按下列步骤进行：

- 1 将比重瓶洗净、烘干，置于干燥器内，冷却后称量，准确至0.001g。
- 2 将煮沸经冷却的纯水注入比重瓶。对长颈比重瓶注水至刻度处；对短颈比重瓶应注满纯水，塞紧瓶塞，多余水自瓶塞毛细管中溢出，将比重瓶放入恒温水槽直至瓶内水温稳定。取出比重瓶，擦干外壁，称瓶、水总质量，准确至0.001g。测定恒温水槽内水温，准确至0.5。
- 3 调节数个恒温水槽内的温度，温度差宜为5，测定不同温度下的瓶、水总质量。每个温度时均应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于0.002g，取两次测值的平均值。绘制温度与瓶、水总质量的关系曲线，见图6.2.3。

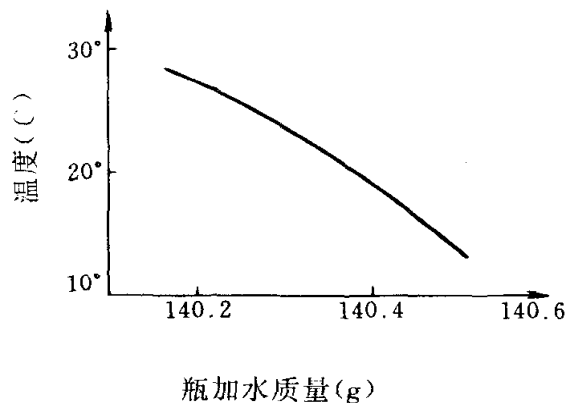


图 6.2.3 温度和瓶、水质量关系曲线

6.2.4 比重瓶法试验的试样制备，应按本标准第3.1.5条1、2款的步骤进行。

6.2.5 比重瓶法试验，应按下列步骤进行：

- 1 将比重瓶烘干。称烘干试样15g(当用50mL的比重瓶时，称烘干试样10g)装入比重瓶，称试样和瓶的总质量，准确至0.001g。
- 2 向比重瓶内注入半瓶纯水，摇动比重瓶，并放在砂浴上煮沸，煮沸时间自悬液沸腾起砂土不应少于30min，粘土、粉土不得少于1h。沸腾后应调节砂浴温度，比重瓶

内悬液不得溢出。对砂土宜用真空抽气法；对含有可溶盐、有机质和亲水性胶体的土必须用中性液体(煤油)代替纯水，采用真空抽气法排气，真空表读数宜接近当地一个大气负压值，抽气时间不得少于1h。

注：用中性液体，不能用煮沸法。

3 将煮沸经冷却的纯水(或抽气后的中性液体)注入装有试样悬液的比重瓶。当用长颈比重瓶时注纯水至刻度处；当用短颈比重瓶时应将纯水注满，塞紧瓶塞，多余的水分自瓶塞毛细管中溢出。将比重瓶置于恒温水槽内至温度稳定，且瓶内上部悬液澄清。取出比重瓶，擦干瓶外壁，称比重瓶、水、试样总质量，准确至0.001g；并应测定瓶内的水温，准确至0.5。

4 从温度与瓶、水总质量的关系曲线中查得各试验温度下的瓶、水总质量。

6.2.6 土粒的比重，应按下式计算：

$$G_s = \frac{m_d}{m_{bw} + m_d - m_{bws}} \cdot G_{iT} \quad (6.2.6)$$

式中： m_{bw} ——比重瓶、水总质量(g)；

m_{bws} ——比重瓶、水、试样总质量(g)；

G_{iT} ——T 时纯水或中性液体的比重。

水的比重可查物理手册；中性液体的比重应实测，称量应准确至0.001g。

6.2.7 比重瓶法试验的记录格式见附录D表D—6。

6.3 浮称法

6.3.1 本试验方法适用于粒径等于、大于5mm的各类土，且其中粒径大于20mm的土质量应小于总土质量的10%。

6.3.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 铁丝筐：孔径小于5mm，边长为10~15cm，高为10~20cm。
- 2 盛水容器：尺寸应大于铁丝筐。
- 3 浮秤天平：称量2000g，最小分度值0.5g，(图6.3.2)。

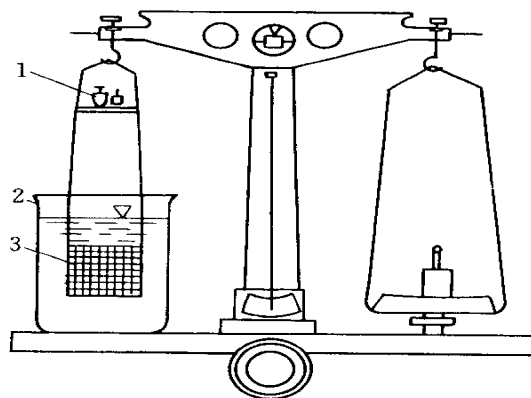


图 6.3.2 浮秤天平

1—平衡砝码；2—盛水容器；3—盛粗粒土的铁丝筐

6.3.3 浮称法试验，应按下列步骤进行：

1 取代表性试样500~1000g，将试样表面清洗洁净，浸入水中一昼夜后取出，放入铁丝筐，并缓慢地将铁丝筐浸没于水中，在水中摇动至试样中无气泡逸出。

2 称铁丝筐和试样在水中的质量，取出试样烘干，并称烘干试样质量。

3 称铁丝筐在水中的质量，并测定盛水容器内水温，准确至0.5。

6.3.4 土粒比重，应按下式计算：

$$G_s = \frac{m_d}{m_d - (m_{1s} - m_1')} \cdot G_{wT} \quad (6.3.4)$$

式中： m_{1s} ——铁丝筐和试样在水中的质量(g)；

m_1' ——铁丝筐在水中的质量(g)；

G_{wT} ——T 时纯水的比重，查有关物理手册。

6.3.5 浮称法试验的记录格式见附录D表D—7。

6.4 虹吸筒法

6.4.1 本试验方法适用于粒径等于、大于5mm的各类土，且其中粒径大于20mm的土质量等于、大于总土质量的10%。

6.4.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 虹吸筒装置(图6.4.2)：由虹吸筒和虹吸管组成。
- 2 天平：称量1000g，最小分度值0.1g。
- 3 量筒：容积应大于500mL。

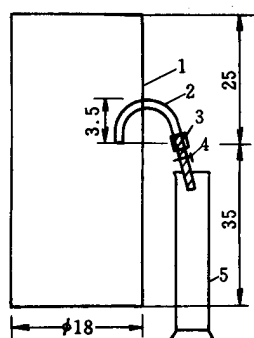


图 6.4.2 虹吸筒

1—虹吸筒；2—虹吸管；3—橡皮管；4—管夹；5—量筒

6.4.3 虹吸筒法比重试验，应按下列步骤进行：

1 取代表性试样700—1000g，试样应清洗洁净。浸入水中一昼夜后取出晾干，对大颗粒试样宜用干布擦干表面，并称晾干试样质量。

2 将清水注入虹吸筒至虹吸管口有水溢出时关管夹，试样缓缓放入虹吸筒中，边放边搅拌，至试样中无气泡逸出为止，搅动时水不得溅出筒外。

3 当虹吸筒内水面平稳时开管夹，让试样排开的水通过虹吸管流入量筒，称量筒与水总质量，准确至0.5g。并测定量筒内水温，准确到0.5。

4 取出试样烘至恒量、称烘干试样质量，准确至0.1g。称量筒质量，准确至0.5g。

6.4.4 土粒的比重，应按下式计算：

$$G_s = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c) - (m_{ad} - m_d)} \cdot G_{wT} \quad (6.4.4)$$

式中： m_c ——量筒质量(g)；

m_{cw} ——量筒与水总质量(g)；

m_{ad} ——晾干试样的质量(g)。

6.4.5 虹吸筒法比重试验的记录格式见附录D表D—8。

7 颗粒分析试验

7.1 筛析法

7.1.1 本试验方法适用于粒径小于、等于60mm，大于0.075mm的土。

7.1.2 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 分析筛：

- 1) 粗筛，孔径为60、40、20、10、5、2mm。
- 2) 细筛，孔径为2.0、1.0、0.5、0.25、0.075mm。

2 天平：称量5000g，最小分度值1g；称量1000g，最小分度值0.1g；称量200g，最小分度值0.01g。

3 振筛机：筛析过程中应能上下震动。

4 其他：烘箱、研钵、瓷盘、毛刷等。

7.1.3 筛析法的取样数量，应符合表7.1.3的规定：

表7.1.3 取样数量

颗粒尺寸(mm)	取样数量(g)
< 2	100 ~ 300
< 10	300 ~ 000
< 20	1000 ~ 2000
< 40	2000 ~ 4000
< 60	4000以上

7.1.4 筛析法试验，应按下列步骤进行：

1 按本标准表7.1.3的规定称取试样质量，应准确至0.1g，试样数量超过500g时，应准确至1g。

2 将试样过2mm筛，称筛上和筛下的试样质量。当筛下的试样质量小于试样总质量的10%时，不作细筛分析；筛上的试样质量小于试样总质量的10%时，不作粗筛分析。

3 取筛上的试样倒入依次叠好的粗筛中，筛下的试样倒入依次叠好的细筛中，进行筛析。细筛宜置于振筛机上震筛，振筛时间宜为10~15min。再按由上而下的顺序将各筛取下，称各级筛上及底盘内试样的质量，应准确至0.1g。

4 筛后各级筛上和筛底上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%。

注：根据土的性质和工程要求可适当增减不同筛径的分析筛。

7.1.5 含有细粒土颗粒的砂土的筛析法试验，应按下列步骤进行：

1 按本标准表7.1.3的规定称取代表性试样，置于盛水容器中充分搅拌，使试样的粗细颗粒完全分离。

2 将容器中的试样悬液通过2mm筛，取筛上的试样烘至恒量，称烘干试样质量，应准确到0.1g，并按本标准第7.1.4条3、4款的步骤进行粗筛分析，取筛下的试样悬液，用带橡皮头的研杆研磨，再过0.075mm筛，并将筛上试样烘至恒量，称烘干试样质量，应准确至0.1g，然后按本标准第7.1.4条3、4款的步骤进行细筛分析。

3 当粒径小于0.075mm的试样质量大于试样总质量的10%时，应按本标准密度计法或移液管法测定小于0.075mm的颗粒组成。

7.1.6 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比，应按下列式计算：

$$X = \frac{m_A}{m_B} \cdot d_x \quad (7.1.6)$$

式中：X——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比(%)；

m_A ——小于某粒径的试样质量(g)；

m_B ——细筛分析时为所取的试样质量；粗筛分析时为试样总质量(g)；

d_x ——粒径小于2mm的试样质量占试样总质量的百分比(%)。

7.1.7 以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比为纵坐标，颗粒粒径为横坐标，在单对数坐标上绘制颗粒大小分布曲线，见图7.1.7。

7.1.8 必要时计算级配指标：不均匀系数和曲率系数。

1 不均匀系数按下式计算：

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (7.1.8-1)$$

式中： C_u ——不均匀系数；

d_{60} ——限制粒径，颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的60%；

d_{10} ——有效粒径，颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的10%。

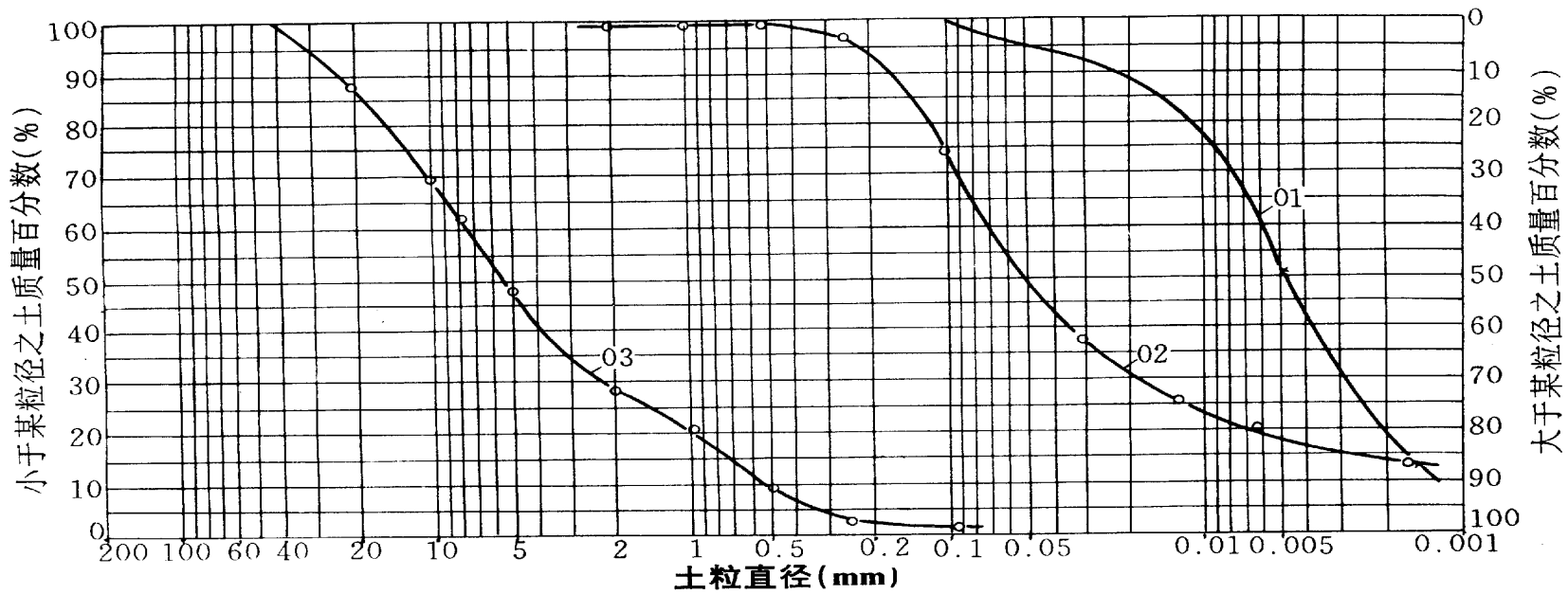
2 曲率系数按下式计算：

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (7.1.8-2)$$

式中： C_c ——曲率系数；

d_{30} ——颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的30%。

7.1.9 筛析法试验的记录格式见附录D表D—9。



卵石或 碎石	粗	中		细	粗	中		细	粉粒	粘粒
	砾									

试样 编号	粗粒土 (>0.075mm)					土的分类	细粒土 (<0.075mm)		工程编号 _____	试验者 _____
	>60 (%)	砾 (%)	砂 (%)	$C_u = d_{60} / d_{10}$	$C_c = d_{30}^2 / (d_{60} d_{10})$		0.075~ 0.005	<0.005		

土样说明 _____	制图者 _____
试验日期 _____	校核者 _____

图 7.1.7 颗粒大小分布曲线

7.2 密度计法

7.2.1 本试验方法适用于粒径小于0.075mm的试样。

7.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 密度计：

1) 甲种密度计，刻度 - 5 ~ 50 ，最小分度值为0.5 。

2) 乙种密度计(20 /20)，刻度为0.995 ~ 1.020，最小分度值为0.0002。

2 量筒：内径约60mm，容积1000mL，高约420mm，刻度0 ~ 1000mL，准确至10mL。

3 洗筛：孔径0.075mm。

4 洗筛漏斗：上口直径大于洗筛直径，下口直径略小于量筒内径。

5 天平：称量1000g，最小分度值0.1g；称量200g，最小分度值0.01g。

6 搅拌器：轮径50mm，孔径3mm，杆长约450mm，带螺旋叶。

7 煮沸设备：附冷凝管装置。

8 温度计：刻度0 ~ 50 ，最小分度值0.5 。

9 其他：秒表，锥形瓶(容积500mL)、研钵、木杵、电导率仪等。

7.2.3 本试验所用试剂，应符合下列规定：

1 4%六偏磷酸钠溶液：溶解4g六偏磷酸钠(NaPO_3)₆于100mL水中。

2 5%酸性硝酸银溶液：溶解5g硝酸银(AgNO_3)于100mL的10%硝酸(HNO_3)溶液中。

3 5%酸性氯化钡溶液：溶解5g氯化钡(BaCl_2)于100mL的10%盐酸(HCL)溶液中。

7.2.4 密度计法试验，应按下列步骤进行：

1 试验的试样，宜采用风干试样。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T 时，试样溶液(土水比为1：5)的电导率，并按下式计算20 时的电导率：

$$K_{20} = \frac{K_T}{1 + 0.02(T - 20)} \quad (7.2.4-1)$$

式中： K_{20} ——20 时悬液的电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)；

K_T ——T 时悬液的电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)；

T ——测定时悬液的温度()。

当 K_{20} 大于1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 时应洗盐。

注：若 K_{20} 大于2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 应按本标准第31.2节各步骤测定易溶盐含量。

2) 目测法：取风干试样3g于烧杯中，加适量纯水调成糊状研散，再加纯水25mL，煮沸10min，冷却后移入试管中，放置过夜，观察试管，出现凝聚现象应洗盐。易溶盐含量测定按本标准第31.2节各步骤进行。

3) 洗盐方法：按式(7.2.4—3)计算，称取干土质量为30g的风干试样质量，准确至0.01g，倒入500mL的锥形瓶中，加纯水200mL，搅拌后用滤纸过滤或抽气过滤，并用纯水洗滤到滤液的电导率 K_{20} 小于1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (或对5%酸性硝酸银溶液和5%酸性氯化钡溶液无白色沉淀反应)为止，滤纸上的试样按第4款步骤进行操作。

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比。取筛下土测定试样风干含水率。

3 试样干质量为30g的风干试样质量按下式计算：

当易溶盐含量小于1%时，

$$m_0 = 30(1 + 0.01w_0) \quad (7.2.4—2)$$

当易溶盐含量大于、等于1%时，

$$m_0 = \frac{30(1 + 0.01w_0)}{1 - W} \quad (7.2.4-3)$$

式中：W——易溶盐含量(%)。

4 将风干试样或洗盐后在滤纸上的试样，倒入500mL锥形瓶，注入纯水200mL，浸泡过夜，然后置于煮沸设备上煮沸，煮沸时间宜为40min。

5 将冷却后的悬液移入烧杯中，静置1min，通过洗筛漏斗将上部悬液过0.075mm筛，遗留杯底沉淀物用带橡皮头研杵研散，再加适量水搅拌，静置1min，再将上部悬液过0.075mm筛，如此重复倾洗(每次倾洗，最后所得悬液不得超过1000mL)直至杯底砂粒洗净，将筛上和杯中砂粒合并洗入蒸发皿中，倾去清水，烘干，称量并按本标准第7.1.4条3、4款的步骤进行细筛分析，并计算各级颗粒占试样总质量的百分比。

6 将过筛悬液倒入量筒，加入4%六偏磷酸钠10mL，再注入纯水至1000mL。

注：对加入六偏磷酸钠后仍产生凝聚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、2、5、15、30、60、120和1440min时的密度计读数。每次读数均应在预定时间前10~20s，将密度计放入悬液中。且接近读数的深度，保持密度计浮泡处在量筒中心，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，应小心轻放，不得扰动悬液。

7.2.5 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比应按下式计算：

1 甲种密度计：

$$X = \frac{100}{m_d} C_G (R + m_T + n - C_D) \quad (7.2.5-1)$$

式中：X——小于某粒径的试样质量百分比(%)；

m_d ——试样干质量(g)；

C_G ——土粒比重校正值，查表7.2.5—1；

m_T ——悬液温度校正值，查表7.2.5—2；

n ——弯月面校正值；

C_D ——分散剂校正值；

R ——甲种密度计读数。

2 乙种密度计：

$$X = \frac{100V_X}{m_d} C'_G [(R' - 1) + m'_T + n' - C'_D] \cdot w_{20} \quad (7.2.5-2)$$

式中： C'_G ——土粒比重校正值，查表7.2.5—1；

m'_T ——悬液温度校正值，查表7.2.5—2；

n' ——弯月面校正值；

C'_D ——分散剂校正值；

R' ——乙种密度计读数；

V_X ——悬液体积(=1000mL)；

w_{20} ——20 时纯水的密度(=0.998232g/cm³)。

表7.2.5—1 土粒比重校正表

土粒比重	比重校正值	
	甲种密度计(C_G)	乙种密度计(C'_G)
2.50	1.038	1.666
2.52	1.032	1.658
2.54	1.027	1.649
2.56	1.022	1.641
2.58	1.017	1.632
2.60	1.012	1.625
2.62	1.007	1.617
2.64	1.002	1.609
2.66	0.998	1.603
2.68	0.993	1.595
2.70	0.989	1.588
2.72	0.985	1.581
2.74	0.981	1.575
2.76	0.977	1.568
2.78	0.973	1.562
2.80	0.969	1.556
2.82	0.965	1.549
2.84	0.961	1.543
2.86	0.958	1.538
2.88	0.954	1.532

表7.2.5—2 温度校正表

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

7.2.6 试样颗粒粒径应按下式计算：

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \cdot L}{(G_s - G_{wT})_{wTg} \cdot t}} \quad (7.2.6)$$

式中： d ——试样颗粒粒径(mm)；
 ——水的动力粘滞系数(($kPa \cdot s \times 10^{-6}$)，查表13.1.3)；
 G_{wT} —— T 时水的比重；
 $_{wT}$ ——4 时纯水的密度(g/cm^3)；
 L ——某一时间内的土粒沉降距离(cm)；
 t ——沉降时间(s)；
 g ——重力加速度(cm/s^2)。

7.2.7 颗粒大小分布曲线，应按本标准第7.1.7条的步骤绘制，当密度计法和筛析法联合分析时，应将试样总质量折算后绘制颗粒大小分布曲线；并应将两段曲线连成一条平滑的曲线见本标准图7.1.7。

7.2.8 密度计法试验的记录格式见附录D表D—10。

7.3 移液管法

7.3.1 本试验方法适用于粒径小于0.075mm的试样

7.3.2 本试验所用的主要仪器设备应符合下列要求：

1 移液管(图7.3.2)：容积25mL；

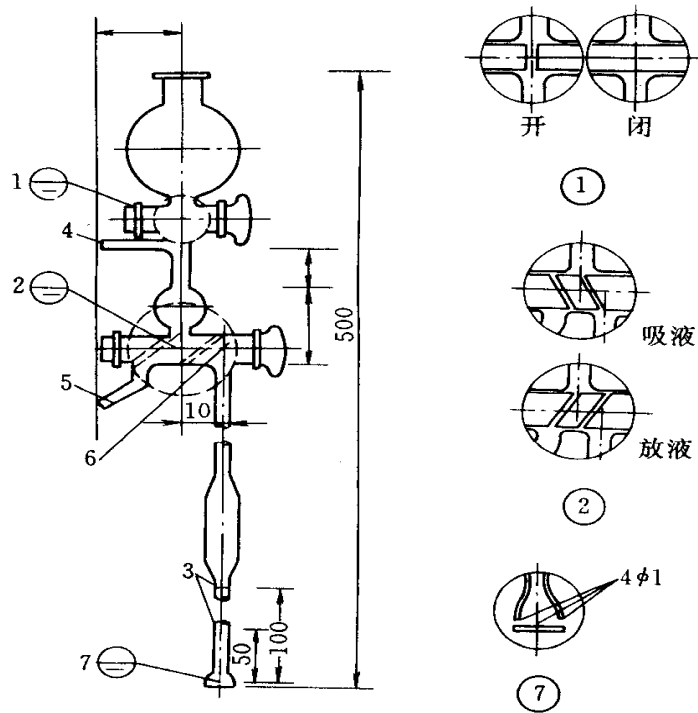


图 7.3.2 移液管装置

1—三通阀；2—三通阀；3—移液管；4—接吸球；

5—放液口；6—移液管容积($25 \pm 0.5mL$)；7—移液管口

2 烧杯：容积50mL；

3 天平：称量200g，最小分度值0.001g。

4 其他与密度计法相同。

7.3.3 移液管法试验，应按下列步骤进行：

1 取代表性试样，粘土10~15g；砂土20g，准确至0.001g，并按本标准第7.2.4条

1~5款的步骤制备悬液。

2 将装置悬液的量筒置于恒温水槽中，测记悬液温度，准确至0.5，试验过程中悬液温度变化范围为±0.5。并按本标准式(7.2.6)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所需的静置时间(或查表7.3.3)。

表7.3.3 土粒在不同温度静水中沉降时间表

土粒 比重	土粒直 径(mm)	沉降距 离(mm)	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35
			(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	0.050	25.0	2 29	2 19	2 10	2 02	1 55	1 49	1 43	1 37	1 32	1 27	1 23
	0.050	12.5	1 14	1 09	1 05	1 01	58	54	51	48	46	44	41
	0.010	10.0	24 52	23 12	21 45	20 24	19 14	18 06	17 06	16 09	15 39	14 38	13 49
	0.005	10.0	39 26	32 48	26 59	21 37	16 55	12 24	08 25	04 14	01 10	58 23	55 16
2.65	0.050	25.0	2 25	2 15	2 06	1 59	1 52	1 45	1 40	1 34	1 29	1 25	1 20
	0.050	12.5	1 12	1 07	1 03	59	56	53	50	47	44	42	40
	0.010	10.0	24 07	22 30	21 05	19 47	18 39	17 33	16 35	15 39	14 50	14 06	13 24
	0.005	10.0	36 27	29 59	24 21	19 08	14 34	10 12	06 21	02 38	59 19	56 24	53 34
2.70	0.050	25.0	2 20	2 11	2 03	1 55	1 49	1 42	1 36	1 31	1 21	1 22	1 18
	0.050	12.5	1 10	1 05	1 01	58	54	51	48	45	43	41	39
	0.010	10.0	23 24	21 50	20 28	19 13	18 06	17 02	16 06	15 12	14 23	13 41	13 00
	0.005	10.0	33 38	27 21	21 54	16 50	12 24	08 10	04 24	00 47	57 34	54 44	52 00
2.75	0.050	25.0	2 16	2 07	1 59	1 52	1 45	1 39	1 34	1 28	1 24	1 21	1 16
	0.050	12.5	1 08	1 04	1 00	56	53	50	47	44	42	40	38
	0.010	10.0	22 44	21 13	19 53	18 40	17 35	16 33	15 38	14 46	13 59	13 26	12 37
	0.005	10.0	30 55	24 52	19 33	14 38	10 19	06 13	02 34	59 04	55 56	53 48	50 31
2.80	0.050	25.0	2 13	2 04	1 56	1 49	1 42	1 36	1 31	1 26	1 21	1 17	1 14
	0.050	12.5	1 06	1 02	58	54	51	48	46	43	41	39	37
	0.010	10.0	22 06	22 06	19 20	18 09	17 05	16 06	15 12	14 21	13 35	12 55	12 17
	0.005	10.0	28 25	22 30	17 20	12 33	08 22	04 22	00 50	57 25	54 21	51 42	49 07

注：表也可以固定相同的沉降距离计算出相应的沉降时间。

3 用搅拌器沿悬液深度上、下搅拌1min，取出搅拌器，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的位置，根据各粒径所需的静置时间，提前10s将移液管放入悬液中，浸入深度为10cm，用吸球吸取悬液。吸取量应不少于25mL。

4 旋转三通阀，使吸球与放液口相通，将多余的悬液从放液口流出，收集后倒入原悬液中。

5 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，从上口倒入少量纯水，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。

6 将烧杯内的悬液蒸干，在105~110 温度下烘至恒量，称烧杯内试样质量，准确至0.001g。

7.3.4 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比，应按下式计算：

$$X = \frac{m_x \cdot V_x}{V'_x m_d} \times 100 \quad (7.3.4)$$

式中： V_x ——悬液总体积(1000mL)；

V'_x ——吸取悬液的体积(=25mL)；

m_x ——吸取25mL悬液中的试样干质量(g)。

7.3.5 颗粒大小分布曲线应按本标准第7.1.7条绘制。当移液管法和筛析法联合分析时，应将试样总质量折算后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标准图7.1.7。

7.3.6 移液管法试验的记录格式见附录D表D—11。

8 界限含水率试验

8.1 液、塑限联合测定法

8.1.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm以及有机质含量不大于试样总质量5%的土。

8.1.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 液、塑限联合测定仪(图8.1.2)：包括带标尺的圆锥仪、电磁铁、显示屏、控制开关和试样杯。圆锥质量为76g，锥角为30°；读数显示宜采用光电式、游标式和百分表式；试样杯内径为40mm，高度为30mm。

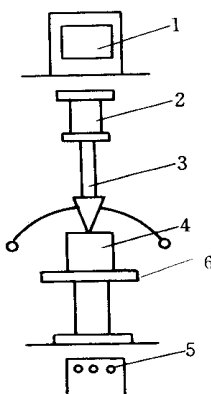


图 8.1.2 液、塑限联合测定仪示意图

—显示屏；2—电磁铁；3—带标尺的圆锥仪；4—试样杯；5—控制开关；6—升降座

2 天平：称量200g，最小分度值0.01g

8.1.3 液、塑限联合测定法试验，应按下列步骤进行：

1 本试验宜采用天然含水率试样，当土样不均匀时，采用风干试样，当试样中含有粒径大于0.5mm的土粒和杂物时，应过0.5mm筛。

2 当采用天然含水率土样时，取代表性土样250g；采用风干试样时，取0.5mm筛下的代表性土样200g，将试样放在橡皮板上用纯水将土样调成均匀膏状，放入调土皿，浸润过夜。

3 将制备的试样充分调拌均匀，填入试样杯中，填样时不应留有空隙，对较干的试样应充分搓揉，密实地填入试样杯中，填满后刮平表面。

4 将试样杯放在联合测定仪的升降座上，在圆锥上抹一薄层凡士林，接通电源，使电磁铁吸住圆锥。

5 调节零点，将屏幕上的标尺调在零位，调整升降座、使圆锥尖接触试样表面，指示灯亮时圆锥在自重下沉入试样，经5s后测读圆锥下沉深度(显示在屏幕上)，取出试样杯，挖去锥尖入土处的凡士林，取锥体附近的试样不少于10g，放入称量盒内，测定含水率。

6 将全部试样再加水或吹干并调匀，重复本条3至5款的步骤分别测定第二点、第三点试样的圆锥下沉深度及相应的含水率。液塑限联合测定应不少于三点。

注：圆锥入土深度宜为3~4mm，7~9mm，15~17mm。

8.1.4 试样的含水率应按本标准式(4.0.4)计算。

8.1.5 以含水率为横坐标，圆锥入土深度为纵坐标在双对数坐标纸上绘制关系曲线(图8.1.5)，三点应在一直线上如图中A线。当三点不在一直线上时，通过高含水率的点和其余两点连成二条直线，在下沉为2mm处查得相应的2个含水率，当两个含水率的差值小于2%时，应以两点含水率的平均值与高含水率的点连一直线如图中B线，当两个含水率

的差值大于、等于2%时，应重做试验。

8.1.6 在含水率与圆锥下沉深度的关系图(见本标准图8.1.5)上查得下沉深度为17mm所对应的含水率为液限，查得下沉深度为10mm所对应的含水率为10mm液限，查得下沉深度为2mm所对应的含水率为塑限，取值以百分数表示，准确至0.1%。

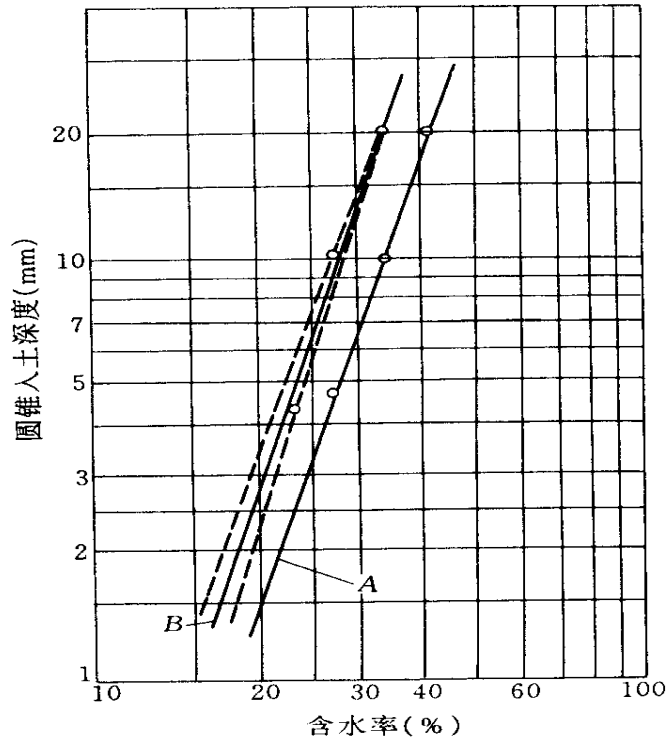


图 8.1.5 圆锥下沉深度与含水率关系曲线

8.1.7 塑性指数应按下式计算：

$$I_p = w_L - w_p \quad (8.1.7)$$

式中 I_p ——塑性指数；
 w_L ——液限(%)；
 w_p ——塑限(%)。

8.1.8 液性指数应按下式计算：

$$I_L = \frac{w_0 - w_p}{I_p} \quad (8.1.8)$$

式中 I_L ——液性指数，计算至0.01。

8.1.9 液、塑限联合测定法试验的记录格式见附录D表D—12。

8.2 碟式仪液限试验

8.2.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm的土。

8.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 碟式液限仪：由铜碟、支架及底座组成(图8.2.2)，底座应为硬橡胶制成。
- 2 开槽器：带量规，具有一定形状和尺寸(图8.2.2)。

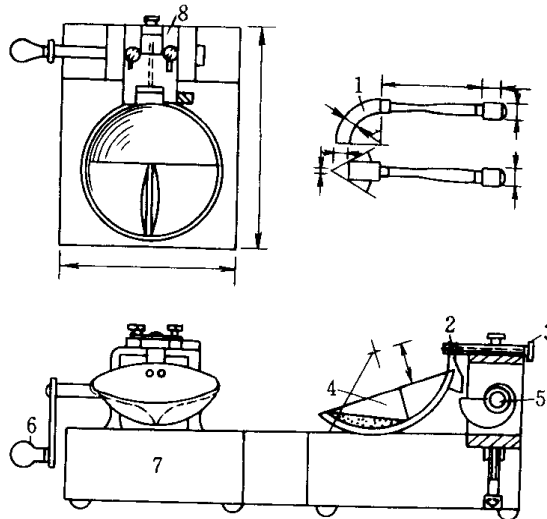


图 8.2.2 碟式液限仪

1-开槽器;2-销子;3-支架;4-上碟;

5-蜗轮;6-摇柄;7-底座;8-调整板

8.2.3 碟式仪的校准应按下列步骤进行：

1 松开调整板的定位螺钉，将开槽器上的量规垫在铜碟与底座之间，用调整螺钉将铜碟提升高度调整到10mm。

2 保持量规位置不变，迅速转动摇柄以检验调整是否正确。当蜗形轮碰击从动器时，铜碟不动，并能听到轻微的声音，表明调整正确。

3 拧紧定位螺钉，固定调整板。

8.2.4 试样制备应按本标准第8.1.3条1、2款的步骤制备不同含水率的试样。

8.2.5 碟式仪法试验，应按下列步骤进行：

1 将制备好的试样充分调拌均匀，铺于铜碟前半部，用调土刀将铜碟前沿试样刮成水平，使试样中心厚度为10mm，用开槽器经蜗形轮的中心沿铜碟直径将试样划开，形成V形槽。

2 以每秒两转的速度转动摇柄，使铜碟反复起落，坠击于底座上，数记击数，直至槽底两边试样的合拢长度为13mm时，记录击数，并在槽的两边取试样不应少于10g，放入称量盒内，测定含水率。

3 将加不同水量的试样，重复本条1、2款的步骤测定槽底两边试样合拢长度为13mm所需要的击数及相应的含水率，试样宜为4~5个，槽底试样合拢所需要的击数宜控制在15~35击之间。含水率按本标准式(4.0.4)计算。

8.2.6 以击次为横坐标，含水率为纵坐标，在单对数坐标纸上绘制击次与含水率关系曲线(图8.2.6)，取曲线上击次为25所对应的整数含水率为试样的液限。

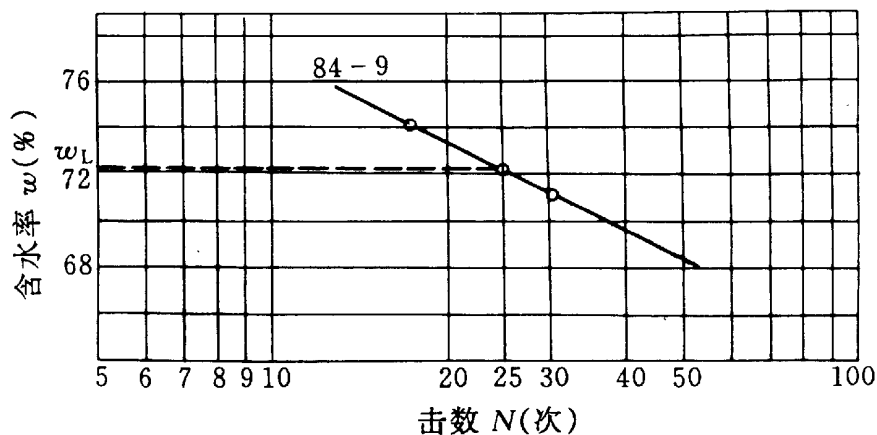


图 8.2.6 液限曲线

8.2.7 碟式仪法液限试验的记录格式见附录D表D—13。

8.3 滚搓法塑限试验

8.3.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm的土。

8.3.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 毛玻璃板：尺寸宜为200mm × 300mm。
- 2 卡尺：分度值为0.02mm。

8.3.3 滚搓法试验，应按下列步骤进行：

- 1 取0.5mm筛下的代表性试样100g，放在盛土皿中加纯水拌匀，湿润过夜。
- 2 将制备好的试样在手中揉捏至不粘手，捏扁，当出现裂缝时，表示其含水率接近塑限。

3 取接近塑限含水率的试样8~10g，用手搓成椭圆形，放在毛玻璃板上用手掌滚搓，滚搓时手掌的压力要均匀地施加在土条上，不得使土条在毛玻璃板上无力滚动，土条不得有空心现象，土条长度不宜大于手掌宽度。

4 当土条直径搓成3mm时产生裂缝，并开始断裂，表示试样的含水率达到塑限含水率。当土条直径搓成3mm时不产生裂缝或土条直径大于3mm时开始断裂，表示试样的含水率高于塑限或低于塑限，都应重新取样进行试验。

- 5 取直径3mm有裂缝的土条3~5g，测定土条的含水率。

8.3.4 本试验应进行两次平行测定，两次测定的差值应符合本标准第4.0.7条的规定，取两次测值的平均值。

8.3.5 滚搓法试验的记录格式见附录D表D—14。

8.4 收缩皿法缩限试验

8.4.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm的土。

8.4.2 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 收缩皿：金属制成，直径为45~50mm，高度20~30mm；
- 2 卡尺：分度值为0.02mm。

8.4.3 收缩皿法试验，应按下列步骤进行：

1 取代表性试样200g，搅拌均匀，加纯水制备成含水率等于、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，直至驱尽气泡，收缩皿内填满试样后刮平表面。

- 3 擦净收缩皿外部，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，当试样颜色变淡时，放入烘箱内烘至恒量，取出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。

8.4.4 本试验应进行两次平行测定，两次测定的差值应符合本标准第4.0.7条的规定，取两次测值的平均值。

8.4.5 土的缩限，应按下式计算，准确至0.1%。

$$w_n = w - \frac{V_0 - V_d}{m_d} w \times 100 \quad (8.4.5)$$

式中 w_n ——土的缩限(%)

w ——制备时的含水率(%)；

V_0 ——湿试样的体积(cm^3)；

V_d ——干试样的体积(cm^3)。

8.4.6 收缩皿法试验的记录格式见附录D表D—15。

9 砂的相对密度试验

9.1 一般规定

9.1.1 本试验方法适用于粒径不大于5mm的土，且粒径2~5mm的试样质量不大于试样总质量的15%。

9.1.2 砂的相对密度试验是进行砂的最大干密度和最小干密度试验；砂的最小干密度试验宜采用漏斗法和量筒法，砂的最大干密度试验采用振动锤击法。

9.1.3 本试验必须进行两次平行测定，两次测定的密度差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取两次测值的平均值。

9.2 砂的最小干密度试验

9.2.1 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 量筒：容积500mL和1000mL，后者内径应大于60mm。
- 2 长颈漏斗：颈管的内径为1.2cm，颈口应磨平。
- 3 锥形塞：直径为1.5cm的圆锥体，焊接在铁杆上(图9.2.1)。
- 4 砂面拂平器：十字形金属平面焊接在铜杆下端。

9.2.2 最小干密度试验，应按下列步骤进行：

1 将锥形塞杆自长颈漏斗下口穿入，并向上提起，使锥底堵住漏斗管口，一并放入1000mL的量筒内，使其下端与量筒底接触。

2 称取烘干的代表性试样700g，均匀缓慢地倒入漏斗中，将漏斗和锥形塞杆同时提高，移动塞杆，使锥体略离开管口，管口应经常保持高出砂面1~2cm，使试样缓慢且均匀分布地落入量筒中。

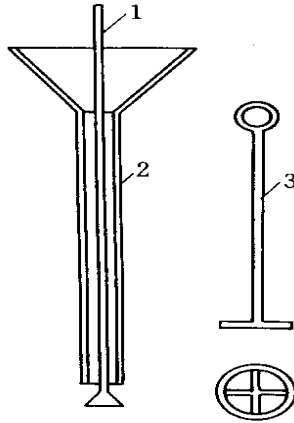


图 9.2.1 漏斗及拂平器

1 锥形塞；2 长颈漏斗；3 砂面拂平器

3 试样全部落入量筒后，取出漏斗和锥形塞，用砂面拂平器将砂面拂平、测记试样体积，估读至5mL。

注：若试样中不含大于2mm的颗粒时，可取试样400g用500mL的量筒进行试验。

4 用手掌或橡皮板堵住量筒口，将量筒倒转并缓慢地转回到原来位置，重复数次，记下试样在量筒内所占体积的最大值，估读至5mL。

5 取上述两种方法测得的较大体积值，计算最小干密度。

9.2.3 最小干密度应按下式计算：

$$d_{\min} = \frac{m_d}{V_d} \quad (9.2.3)$$

式中 d_{\min} ——试样的最小干密度(g/cm^3)。

9.2.4 最大孔隙比应按下式计算：

$$e_{\max} = \frac{w \cdot G_s}{d_{\min}} - 1 \quad (9.2.4)$$

式中 e_{\max} ——试样的最大孔隙比。

9.2.5 砂的最小干密度试验记录格式见附录D表D—16。

9.3 砂的最大干密度试验

9.3.1 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 金属圆筒：容积250mL，内径为5cm；容积1000mL，内径为10cm，高度均为12.7cm，附护筒。

2 振动叉(图9.3.1—1)。

3 击锤：锤质量1.25kg，落高15cm，锤直径5cm(图9.3.1—2)。

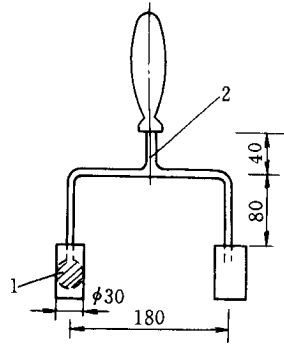


图 9.3.1-1 振动叉
1—击球；2—音叉

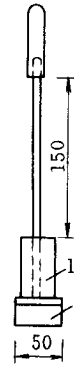


图 9.3.1-2 击锤
1—击锤；2—锤座

9.3.2 最大干密度试验，应按下列步骤进行：

1 取代表性试样2000g，拌匀，分3次倒入金属圆筒进行振击，每层试样宜为圆筒容积的1/3，试样倒入筒后用振动叉以每分钟往返150~200次的速度敲打圆筒两侧，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。如此重复第二层和第三层。

2 取下护筒，刮平试样，称圆筒和试样的总质量，计算出试样质量。

9.3.3 最大干密度应按下式计算：

$$d_{\max} = \frac{m_d}{V_d} \quad (9.3.3)$$

式中 d_{\max} ——砂的最大干密度(g/cm³)

9.3.4 最小孔隙比应按下式计算：

$$e_{\min} = \frac{w \cdot G_s}{d_{\max}} - 1 \quad (9.3.4)$$

式中 e_{\min} ——最小孔隙比。

9.3.5 砂的相对密度应按下式计算：

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (9.3.5-1)$$

或

$$D_r = \frac{d_{\max} \left(d - d_{\min} \right)}{d - \left(d_{\max} - d_{\min} \right)} \quad (9.3.5-2)$$

式中 e_0 ——砂的天然孔隙比；

D_r ——砂的相对密度；

d ——要求的干密度(或天然干密度)(g/cm³)。

9.3.6 最大干密度试验记录格式见附录D表D—1 6。

10 击实试验

10.0.1 本试验分轻型击实和重型击实。轻型击实试验适用于粒径小于5mm的粘性土，重型击实试验适用于粒径不大于20mm的土。采用三层击实时，最大粒径不大于40mm。

10.0.2 轻型击实试验的单位体积击实功约592.2kJ/m³，重型击实试验的单位体积击实功约2684.9kJ/m³。

10.0.3 本试验所用的主要仪器设备(如图10.0.3)应符合下列规定：

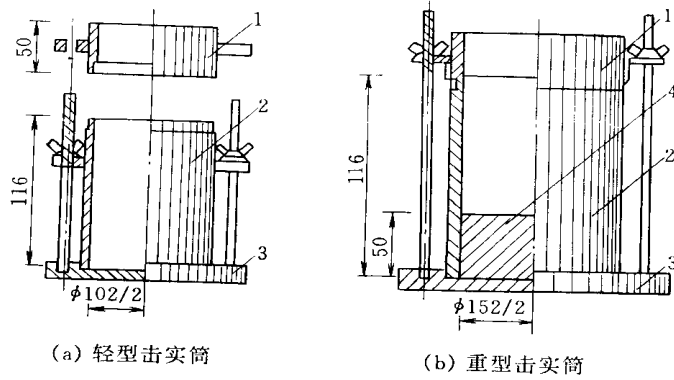


图 10.0.3-1 击实筒(mm)

1—套筒;2—击实筒;3—底板;4—垫块

- 1 击实仪的击实筒和击锤尺寸应符合表10.0.3规定。
- 2 击实仪的击锤应配导筒，击锤与导筒间应有足够的间隙使锤能自由下落；电动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(轻型 53.5° ，重型 45°)均匀分布的装置(重型击实仪中心点每圈要加一击)。

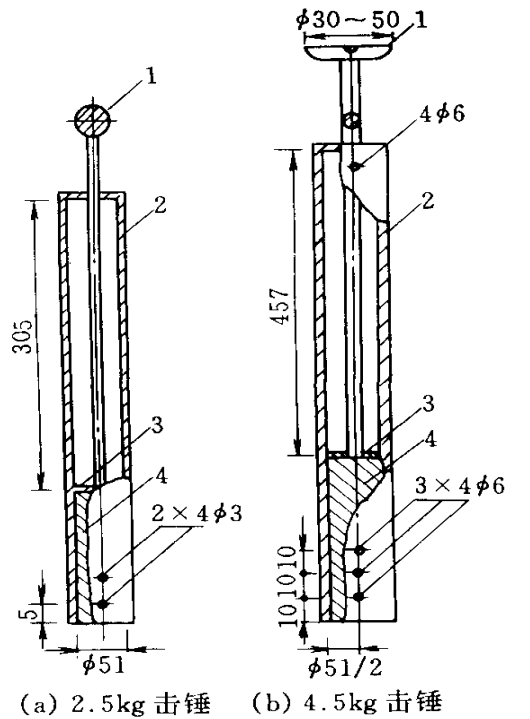


图 10.0.3-2 击锤与导筒(mm)

1 提手;2 导筒;3 硬橡皮垫;4 击锤

表10.0.3 击实仪主要部件规格表

试验方法	锤底直径(mm)	锤质量(kg)	落高(mm)	击实筒			护筒高度(mrn)
				内径(mm)	筒高(mm)	容积(cm^3)	
轻型	51	2.5	305	102	116	947.4	50
重型	51	4.5	457	152	116	2103.9	50

- 3 天平：称量200g，最小分度值，0.01g。
- 4 台秤：称量10kg，最小分度值5g。
- 5 标准筛：孔径为20mm、40mm和5mm。

6 试样推出器：宜用螺旋式千斤顶或液压式千斤顶，如无此类装置，亦可用刮刀和修土刀从击实筒中取出试样。

10.0.4 试样制备分为干法和湿法两种。

1 干法制备试样应按下列步骤进行：用四分法取代表性土样20kg(重型为50kg)，风干碾碎，过5mm(重型过20mm或40mm)筛，将筛下土样拌匀，并测定土样的风干含水率。根据土的塑限预估最优含水率，并按本标准第3.1.6条4、5款的步骤制备5个不同含水率的一组试样，相邻2个含水率的差值宜为2%。

注：轻型击实中5个含水率中应有2个大于塑限，2个小于塑限，1个接近塑限。

2 湿法制备试样应按下列步骤进行：取天然含水率的代表性土样20kg(重型为50kg)，碾碎，过5mm筛(重型过20mm或40mm)，将筛下土样拌匀，并测定土样的天然含水率。根据土样的塑限预估最优含水率，按本条1款注的原则选择至少5个含水率的土样，分别将天然含水率的土样风干或加水进行制备，应使制备好的土样水分均匀分布。

10.0.5 击实试验应按下列步骤进行：

1 将击实仪平稳置于刚性基础上，击实筒与底座联接好，安装好护筒，在击实筒内壁均匀涂一薄层润滑油。称取一定量试样，倒入击实筒内，分层击实，轻型击实试样为2~5kg，分3层，每层25击；重型击实试样为4~10kg，分5层，每层56击，若分3层，每层94击。每层试样高度宜相等，两层交界处的土面应刨毛。击实完成时，超出击实筒顶的试样高度应小于6mm。

2 卸下护筒，用直刮刀修平击实筒顶部的试样，拆除底板，试样底部若超出筒外；也应修平，擦净筒外壁，称筒与试样的总质量，准确至1g，并计算试样的湿密度。

3 用推土器将试样从击实筒中推出，取2个代表性试样测定含水率，2个含水率的差值应不大于1%。

4 对不同含水率的试样依次击实。

10.0.6 试样的干密度应按下列式计算：

$$d = \frac{0}{1 + 0.01 i} \quad (10.0.6)$$

式中 i ——某点试样的含水率(%)。

10.0.7 干密度和含水率的关系曲线，应在直角坐标纸上绘制(如图10.0.7)。并应取曲线峰值点相应的纵坐标为击实试样的最大干密度，相应的横坐标为击实试样的最优含水率。当关系曲线不能绘出峰值点时，应进行补点，土样不宜重复使用。

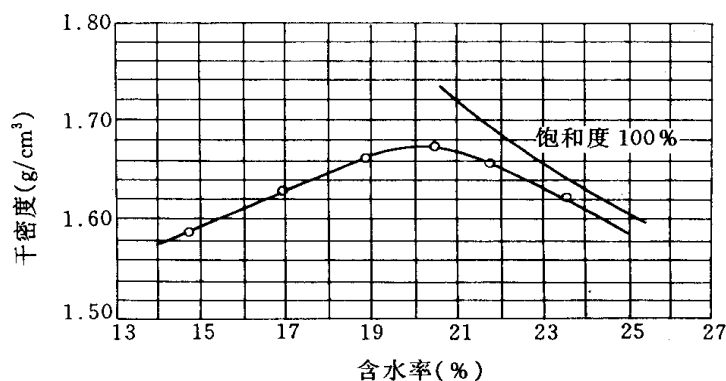


图 10.0.7 ρ_d-w 关系曲线

10.0.8 气体体积等于零(即饱和度100%)的等值线应按下列式计算，并应将计算值绘于本标准图10.0.7的关系曲线上。

$$w_{set} = \left(\frac{w}{d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 \quad (10.0.8)$$

式中 w_{set} ——试样的饱和含水率(%)，
 w ——温度4 时水的密度(g/cm³)，
 d ——试样的干密度(g/cm³)；
 G_s ——土颗粒比重。

10.0.9 轻型击实试验中，当试样中粒径大于5mm的土质量小于或等于试样总质量的30%时，应对最大干密度和最优含水率进行校正。

1 最大干密度应按下式校正：

$$d'_{max} = \frac{1}{\frac{1-P_5}{d_{max}} + \frac{P_5}{w \cdot G_{s2}}} \quad (10.0.9-1)$$

式中 d'_{max} ——校正后试样的最大干密度(g/cm³)；
 P_5 ——粒径大于5mm土的质量百分数(%)；
 G_{s2} ——粒径大于5mm土粒的饱和面干比重。

注：饱和面干比重指当土粒呈饱和面干状态时的土粒总质量与相当于土粒总体积的纯水4 时质量的比值。

2 最优含水率应按下式进行校正，计算至0.1%。

$$w'_{opt} = w_{opt}(1-P_5) + P_5 \cdot w_{ab} \quad (10.0.9-2)$$

式中 w'_{opt} ——校正后试样的最优含水率(%)；
 w_{opt} ——击实试样的最优含水率(%)；
 w_{ab} ——粒径大于5mm土粒的吸着含水率(%)。

10.0.10 击实试验的记录格式见附录D表D—1 7。

11 承载比试验

11.0.1 本试验方法适用于在规定试样筒内制样后，对扰动土进行试验，试样的最大粒径不大于20mm。采用3层击实制样时，最大粒径不大于40mm。

11.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 试样筒：内径152mm，高166mm的金属圆筒，护筒高50mm；筒内垫块直径151mm，高50mm。试样筒型式见图11.0.2—1。

2 击锤和导筒：锤底直径51mm，锤质量4.5kg，落距457mm，且应符合本标准第10.0.3条2款的规定。图11.0.2—2。

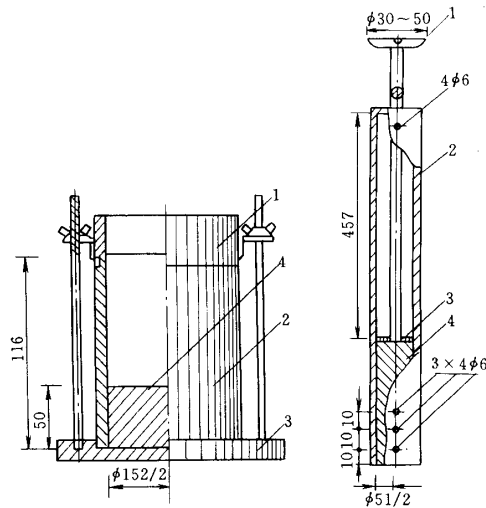


图 11.0.2-1 试样筒

图 11.0.2-2 击锤和导筒

1—护筒;2—击实筒;3—底板;4—垫块 1—提手;2—导筒;3—硬橡皮垫;4—击锤

- 3 标准筛：孔径20mm、40mm和5mm。
- 4 膨胀量测定装置(图11.0.2—3)由三脚架和位移计组成。
- 5 带调节杆的多孔顶板(图11.0.2—4)，板上孔径宜小于2mm。

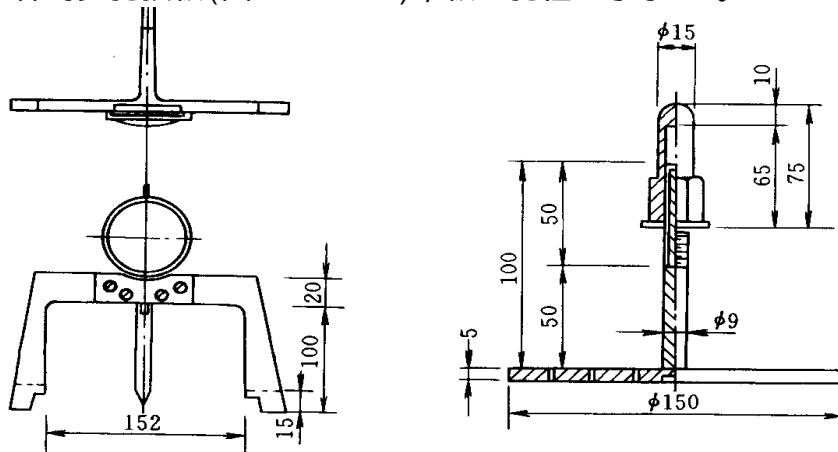


图 11.0.2-3 膨胀量测定装置

图 11.0.2-4 带调节杆的多孔顶板

- 6 贯入仪(图11.0.2—5)由下列部件组成：

- 1) 加压和测力设备：测力计量程不小于50kN，最小贯入速度应能调节至1mm/min。
- 2) 贯入杆：杆的端面直径50mm，长约100mm，杆上应配有安装位移计的夹孔。
- 3) 位移计2只，最小分度值为0.01mm的百分表或准确度为量程0.2%的位移传感器。

- 7 荷载块(图11.0.2—6)：直径150mm，中心孔眼直径52mm，每块质量1.25kg，共4块，并沿直径分为两个半圆块。

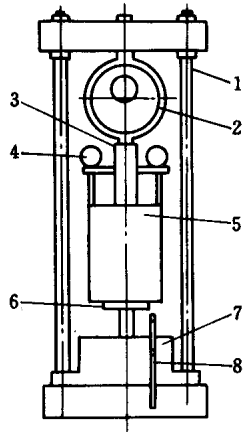
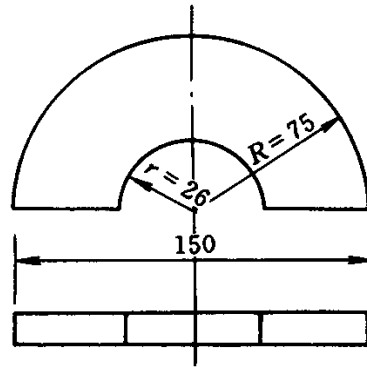


图11.0.2-6 荷载块

图11.0.2-5 贯入仪

1-框架；2-测力计；3-贯入杆；4-位移计；5-试样；
6-升降台；7-蜗轮蜗杆箱；8-摇把



8 水槽：浸泡试样用，槽内水面应高出试样顶面25mm。

9 其他：台秤，脱模器等。

11.0.3 试样制备应按下列步骤进行：

1 取代表性试样测定风干含水率，按本标准第10.0.4条中的重型击实试验步骤进行备样。土样需过20mm或40mm筛，以筛除大于20mm或40mm的颗粒，并记录超径颗粒的百分比，按需要制备数份试样，每份试样质量约6kg。

2 试样制备应按本标准第10.0.5条步骤进行重型击实试验，测定试样的最大干密度和最优含水率。再按最优含水率备样，进行重型击实试验(击实时放垫块)制备3个试样，若需要制备3种干密度试样，应制备9个试样，试样的干密度可控制在最大干密度的95%~100%。击实完成后试样超高应小于6mm。

3 卸下护筒，用修土刀或直刮刀沿试样筒顶修平试样，表面不平整处应细心用细料填补，取出垫块，称试样筒和试样总质量。

11.0.4 浸水膨胀应按下列步骤进行：

1 将一层滤纸铺于试样表面，放上多孔底板，并用拉杆将试样筒与多孔底板固定。倒转试样筒，在试样另一表面铺一层滤纸，并在该面上放上带调节杆的多孔顶板，再放上4块荷载板。

2 将整个装置放入水槽内(先不放水)，安装好膨胀量测定装置，并读取初读数。向水槽内注水，使水自由进入试样的顶部和底部，注水后水槽内水面应保持高出试样顶面25mm(图11.0.4)，通常浸泡4昼夜。

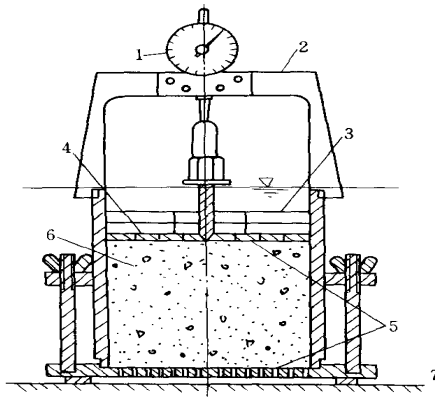


图 11.0.4 浸水膨胀装置

1—位移计；2—膨胀量测定装置；3—荷载板；
4—多孔顶板；5—滤纸；6—试样；7—多孔底板

3 量测浸水后试样的高度变化，并按下式计算膨胀量：

$$w = \frac{\Delta h_w}{h_0} \times 100 \quad (11.0.4)$$

式中 w ——浸水后试样的膨胀量(%)；
 Δh_w ——试样浸水后的高度变化(mm)；
 h_0 ——试样初始高度(116mm)。

4 卸下膨胀量测定装置，从水槽中取出试样筒，吸去试样顶面的水，静置15min后卸下荷载块、多孔顶板和多孔底板，取下滤纸，称试样及试样筒的总质量，并计算试样的含水率及密度的变化。

11.0.5 贯入试验应按下列步骤进行：

1 将浸水后的试样放在贯入仪的升降台上，调整升降台的高度，使贯入杆与试样顶面刚好接触，试样顶面放上4块荷载块，在贯入杆上施加45N的荷载，将测力计和变形量测设备的位移计调整至零位。

2 启动电动机，施加轴向压力，使贯入杆以1—1.25mm/min的速度压入试样，测定测力计内百分表在指定整读数(如20，40，60等)下相应的贯入量，使贯入量在2.5mm时的读数不少于5个，试验至贯入量为10~12.5mm时终止。

3 本试验应进行3个平行试验，3个试样的干密度差值应小于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，当3个试验结果的变异系数(见附录A)大于12%时，去掉一个偏离大的值，取其余2个结果的平均值，当变异系数小于12%时，取3个结果的平均值。

4 以单位压力为横坐标，贯入量为纵坐标，绘制单位压力与贯入量关系曲线(图11.0.5)，图上曲线1是合适的，图上曲线2的开始段呈凹曲线，应按下列方法进行修正：通过变曲率点引一切线与纵坐标相交于O点，O点即为修正后的原点。

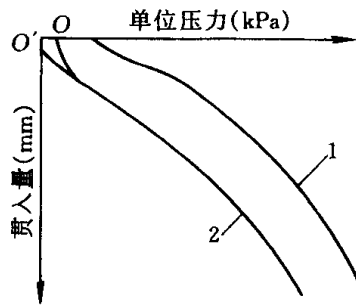


图 11.0.5 单位压力与贯入量关系曲线

11.0.6 承载比应按下式计算：

1 贯入量为2.5mm时

$$CBR_{2.5} = \frac{p}{7000} \times 100 \quad (11.0.6-1)$$

式中 $CBR_{2.5}$ ——贯入量2.5mm时的承载比(%)；

p ——单位压力(kPa)；

7000——贯入量2.5mm时所对应的标准压力(kPa)。

2 贯入量5.0mm时

$$CBR_{5.0} = \frac{p}{10500} \times 100 \quad (11.0.6-2)$$

式中 $CBR_{5.0}$ ——贯入量5.0mm时的承载比(%)；

10500——贯入量5.0mm时的标准压力(kPa)。

11.0.7 当贯入量为5mm时的承载比大于贯入量2.5mm时的承载比时，试验应重做。若数次试验结果仍相同时，则采用5mm时的承载比。

11.0.8 承载比试验的记录格式见附录D表D—18、表D—19。

12 回弹模量试验

12.1 杠杆压力仪法

12.1.1 本试验方法适用于不同含水率和不同密度的细粒土。

12.1.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 杠杆压力仪：最大压力1500N，如图12.1.2—1。试验前应按仪器说明书的要求进行校准。

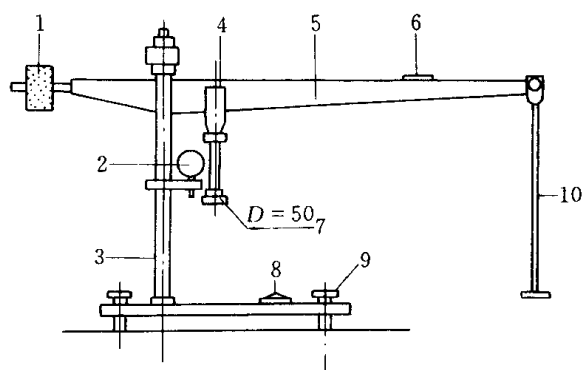


图 12.1.2-1 杠杆压力仪

1—调平砝码；2—千分表；3—立柱；4—加压杆；5—水平杠杆；

6—水平气泡；7—加压球座；8—底座水平气泡；9—调平脚螺丝；10—加压架

2 试样筒：见本标准第10.0.3条仅在与夯击底板的立柱联接的缺口板上多一个内径5mm，深5mm的螺丝孔，用来安装千分表支架(图12.1.2—2)。

3 承压板：直径50mm，高80mm(图12.1.2—3)。

4 千分表：量程2.0mm2只。

5 秒表：最小分度值0.1s。

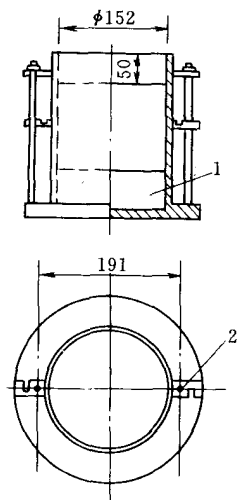


图 12.1.2-2 试样筒

1—垫块；2— $\phi 5$ 螺丝孔

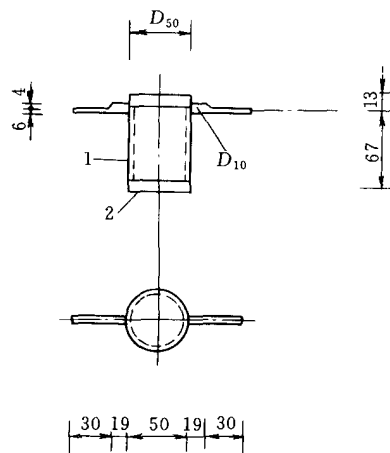


图 12.1.2-3 承压板

1—厚 5mm 钢板；2—厚 10mm 钢板

12.1.1.3 杠杆压力仪法试验应按下列步骤进行：

1 根据工程要求选择轻型或重型击实法，按本标准第10.0.4条步骤制备试样，得出最优含水率和最大干密度，然后按最优含水率备样，用同类击实方法制备试件。

2 将装有试样的试样筒底面放在杠杆压力仪的底盘上，将承压板放在试样中心位置，并与杠杆压力仪的加压球座对正，将千分表固定在立柱上，并将千分表的测头安放在承压板的支架上。

3 在杠杆压力仪的加压架上施加砝码，用预定的最大压力进行预压，含水率大于塑限的试样，压力为50~100kPa；含水率小于塑限的试样，压力为100~200kPa。预压应进行1~2次，每次预压1min，预压后调整承压板位置，并将千分表调到零位。

4 将预定的最大压力分为4~6级进行加压，每级压力加载时间为1min，记录千分表读数，同时卸压，当卸载1min时，再次记录千分表读数，同时施加下一级压力，如此逐级进行加压和卸压，并记录千分表读数，直至最后一级压力，为使试验曲线的开始部分比较准确，第一级压力可分成二小级进行加压和卸压，试验中的最大压力可略大于预定的最大压力。

5 本试验需进行3次平行测定，每次试验结果与回弹模量的均值之差应不超过5%。

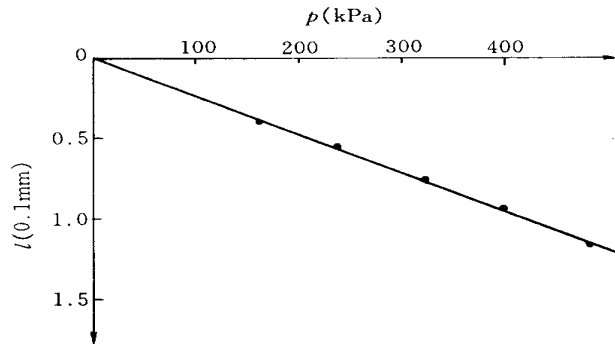


图 12.1.4 $p-l$ 关系曲线

12.1.4 以单位压力 p 为横坐标，回弹变形 l 为纵坐标，绘制单位压力与回弹变形曲线如图12.1.4。试样的回弹模量取 $p-l$ 曲线的直线段计算，对较软的土，如果 $p-l$ 曲线不通过原点允许用初始直线段与纵坐标的交点作为原点，修正各级压力下的回弹变形。

12.1.5 每级压力下的回弹模量应按下式计算：

$$E_e = \frac{pD}{4l}(1-\mu^2) \quad (12.1.5)$$

式中 E_e ——回弹模量(kPa)，
 p ——承压板上的单位压力(kPa)，
 D ——承压板直径(cm)；
 l ——相应于该级压力的回弹变形(加压读数—卸压读数)；
 μ ——土的泊松比，取0.35。

12.1.6 杠杆压力仪法试验记录格式见附录D表D—20。

12.2 强度仪法

12.2.1 本试验方法适用于不同含水率和不同密度的细粒土及其加固土。

12.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 路面材料强度仪：与本标准第11.0.2条6款的贯入仪相同。
- 2 试样筒：与本标准第10.0.3条1款的击实筒相同。
- 3 承压板：与本标准第12.1.2条3款相同。
- 4 量表支杆及表夹：支杆长200mm，直径10mm，一端带有长5mm与试样筒螺丝孔联接的螺丝杆；表夹可用钢材也可用硬塑料制成。

12.2.3 强度仪法试验应按下列步骤进行：

- 1 试样制备应按本标准第12.1.3条1款步骤进行。
- 2 将装有试样的试样筒底面放在强度仪的升降台上，千分表支杆拧在试样筒两侧，将承压板放在试样表面中心位置，并与强度仪的贯入杆对正，将千分表和表夹安装在支杆上，千分表测头安放在承压板两侧的支架上。
- 3 摇动摇把，用预定的最大压力进行预压，预压方法按本标准第12.1.3条3款的步

骤进行。

4 将预定的最大压力分成4—6级，每级压力折算成测力计百分表读数，然后逐级加压，卸压按本标准第12.1.3条4款的步骤进行。当试样较硬，预定压力偏小时，可以不受预定压力的限制，增加加压级数至需要的压力为止。

5 本试验应进行3次平行测定，每次试验的结果与回弹模量的均值之差应不超过5%。

12.2.4 单位压力与回弹变形关系曲线应按本标准第12.1.4条绘制。

12.2.5 回弹模量计算按本标准式(12.1.5)计算。

12.2.6 强度仪法试验记录格式见附录D表D—20。

13 渗透试验

13.1 一般规定

13.1.1 常水头渗透试验适用于粗粒土，变水头渗透试验适用于细粒土。

13.1.2 本试验采用的纯水，应在试验前用抽气法或煮沸法脱气。试验时的水温宜高于试验室温度3—4。

13.1.3 本试验以水温20 为标准温度，标准温度下的渗透系数应按下式计算：

$$k_{20} = k_t \frac{\tau_{20}}{\tau_t} \quad (13.1.3)$$

式中 k_{20} ——标准温度时试样的渗透系数(cm/s)；

τ_t —— T 时水的动力粘滞系数(kPa·s)；

τ_{20} ——20 时水的动力粘滞系数(kPa·s)。

粘滞系数比 $\frac{\tau_t}{\tau_{20}}$ 查表13.1.3。

表13.1.3 水的动力粘滞系数、粘滞系数比、温度校正值

温度 ()	动力粘滞系数 [kPa·s(10 ⁻⁶)]	$T/_{20}$	温度校正 正值 T _P	温度 ()	动力粘滞系数 [kPa·s(10 ⁻⁶)]	$T/_{20}$	温度校正 正值 T _P
5.0	1.516	1.501	1.17	8.0	1.387	1.373	1.28
5.5	1.498	1.478	1.19	8.5	1.367	1.353	1.30
6.0	1.470	1.455	1.21	9.0	1.347	1.334	1.32
6.5	1.449	1.435	1.23	9.5	1.328	1.315	1.34
7.0	1.428	1.414	1.25	10.0	1.310	1.297	1.36
7.5	1.407	1.393	1.27	10.5	1.292	1.279	1.38
11.0	1.274	1.261	1.40	20.5	0.998	0.988	1.78
11.5	1.256	1.243	1.42	21.0	0.986	0.976	1.80
12.0	1.239	1.227	1.44	21.5	0.974	0.964	1.83
12.5	1.223	1.211	1.46	22.0	0.968	0.958	1.85
13.0	1.206	1.194	1.48	22.5	0.952	0.943	1.87
13.5	1.188	1.176	1.50	23.0	0.941	0.932	1.89
14.0	1.175	1.168	1.52	24.0	0.919	0.910	1.94
14.5	1.160	1.148	1.54	25.0	0.899	0.890	1.98
15.0	1.144	1.133	1.56	26.0	0.879	0.870	2.03
15.5	1.130	1.119	1.58	27.0	0.859	0.850	2.07
16.0	1.115	1.104	1.60	28.0	0.841	0.833	2.12
16.5	1.101	1.090	1.62	29.0	0.823	0.815	2.16
17.0	1.088	1.077	1.64	30.0	0.806	0.798	2.21
17.5	1.074	1.066	1.66	31.0	0.789	0.781	2.25
18.0	1.061	1.050	1.68	32.0	0.773	0.765	2.30
18.5	1.048	1.038	1.70	33.0	0.757	0.750	2.34
19.0	1.035	1.025	1.72	34.0	0.742	0.735	2.39
19.5	1.022	1.012	1.74	35.0	0.727	0.720	2.43
20.0	1.010	1.000	1.76				

13.1.4 根据计算的渗透系数，应取3~4个在允许差值范围内的数据的平均值，作为试样在该孔隙比下的渗透系数(允许差值不大于 2×10^{-n})。

13.1.5 当进行不同孔隙比下的渗透试验时，应以孔隙比为纵坐标，渗透系数的对数为横坐标，绘制关系曲线。

13.2 常水头渗透试验

13.2.1 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

常水头渗透仪装置：由金属封底圆筒、金属孔板、滤网、测压管和供水瓶组成(图13.2.1)。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。

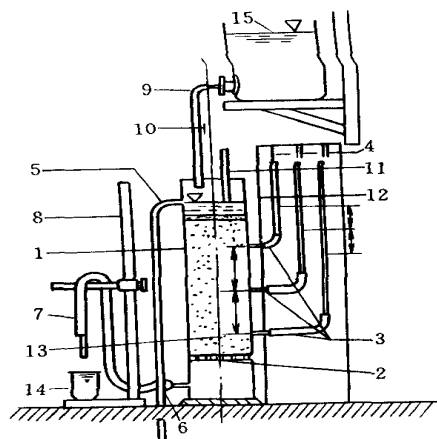


图 13.2.1 常水头渗透装置

1—金属圆筒；2—金属孔板；3—测压孔；4—测压管；5—溢水孔；6—渗水孔；
7—调节管；8—滑动架；9—供水管；10—止水夹；11—温度计；12—砾石层；
13—试样；14—量杯；15—供水瓶

13.2.2 常水头渗透试验，应按下列步骤进行：

1 按本标准图13.2.1装好仪器，量测滤网至筒顶的高度，将调节管和供水管相连，从渗水孔向圆筒充水至高出滤网顶面。

2 取具有代表性的风干土样3~4kg，测定其风干含水率。将风干土样分层装入圆筒内，每层2~3cm，根据要求的孔隙比，控制试样厚度。当试样中含粘粒时，应在滤网上铺2cm厚的粗砂作为过滤层，防止细粒流失。每层试样装完后从渗水孔向圆筒充水至试样顶面，最后一层试样应高出测压管3~4cm，并在试样顶面铺2cm砾石作为缓冲层。当水面高出试样顶面时，应继续充水至溢水孔有水溢出。

3 量试样顶面至筒顶高度，计算试样高度，称剩余土样的质量，计算试样质量。

4 检查测压管水位，当测压管与溢水孔水位不平时，用吸球调整测压管水位，直至两者水位齐平。

5 将调节管提高至溢水孔以上，将供水管放入圆筒内，开止水夹，使水由顶部注入圆筒，降低调节管至试样上部1/3高度处，形成水位差使水渗入试样，经过调节管流出。调节供水管止水夹。使进入圆筒的水量多于溢出的水量，溢水孔始终有水溢出，保持圆筒内水位不变，试样处于常水头下渗透。

6 当测压管水位稳定后，测记水位。并计算各测压管之间的水位差。按规定时间记录渗出水量，接取渗出水量时，调节管口不得浸入水中，测量进水和出水处的水温，取平均值。

7 降低调节管至试样的中部和下部1/3处，按本条5、6款的步骤重复测定渗出水量和水温，当不同水力坡降下测定的数据接近时，结束试验。

8 根据工程需要，改变试样的孔隙比，继续试验。

13.2.3 常水头渗透系数应按下列式计算：

$$k_T = \frac{QL}{AH_t} \quad (13.2.3)$$

式中 k_T ——水温为T 时试样的渗透系数(cm/s)；

Q ——时间 t 秒内的渗出水量(cm^3)；

L ——两测压管中心间的距离(cm)；

A ——试样的断面积(cm^2)；

H ——平均水位差(cm)；

t ——时间(s)。

注：平均水位差 H 可按 $(H^1 + H^2)/2$ 公式计算。

13.2.4 标准温度下的渗透系数应按式(13.1.3)计算。

13.2.5 常水头渗透试验的记录格式见附录D表D—21。

13.3 变水头渗透试验

13.3.1 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 渗透容器：由环刀、透水石、套环、上盖和下盖组成。环刀内径61.8mm，高40mm；透水石的渗透系数应大于 10^{-3} cm/s。

2 变水头装置：由渗透容器、变水头管、供水瓶、进水管等组成(图13.3.1)。变水头管的内径应均匀，管径不大于1cm，管外壁应有最小分度为1.0mm的刻度，长度宜为2m左右。

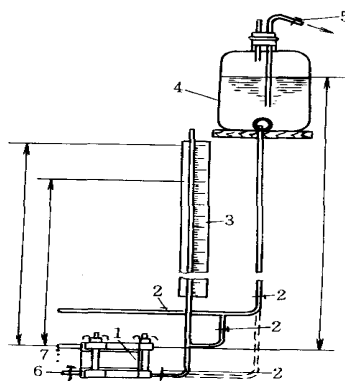


图 13.3.1 变水头渗透装置

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

13.3.2 试样制备应按本标准第3.1.4条或第3.1.6条的规定进行，并应测定试样的含水率和密度。

13.3.3 变水头渗透试验，应按下列步骤进行：

1 将装有试样的环刀装入渗透容器，用螺母旋紧，要求密封至不漏水不漏气。对不易透水的试样，按本标准第3.2.4条的规定进行抽气饱和；对饱和试样和较易透水的试样，直接用变水头装置的水头进行试样饱和。

2 将渗透容器的进水口与变水头管连接，利用供水瓶中的纯水向进水管注满水，并渗入渗透容器，开排气阀，排除渗透容器底部的空气，直至溢水中无气泡，关排水阀，放平渗透容器，关进水管夹。

3 向变水头管注纯水。使水升至预定高度，水头高度根据试样结构的疏松程度确定，一般不应大于2m，待水位稳定后切断水源，开进水管夹，使水通过试样，当出水口有水溢出时开始测记变水头管中起始水头高度和起始时间，按预定时间间隔测记水头和时间的变化，并测记出水口的水温。

4 将变水头管中的水位变换高度，待水位稳定再进行测记水头和时间变化，重复试验5~6次。当不同开始水头下测定的渗透系数在允许差值范围内时，结束试验。

13.3.4 变水头渗透系数应按下式计算：

$$k_T = 2.3 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log \frac{H_1}{H_2} \quad (13.3.4)$$

式中 a ——变水头管的断面积(cm^2)；

- 2.3—— \ln 和 \log 的变换因数；
 L ——渗径，即试样高度(cm)；
 t_1, t_2 ——分别为测读水头的起始和终止时间(s)；
 H_1, H_2 ——起始和终止水头。

13.3.5 标准温度下的渗透系数应按式(13.1.3)计算。

13.3.6 变水头渗透试验的记录格式见附录D表D—22。

14 固结试验

14.1 标准固结试验

14.1.1 本试验方法适用于饱和的粘土。当只进行压缩时，允许用于非饱和土。

14.1.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 固结容器：由环刀、护环、透水板、水槽、加压上盖组成(图14.1.2)。

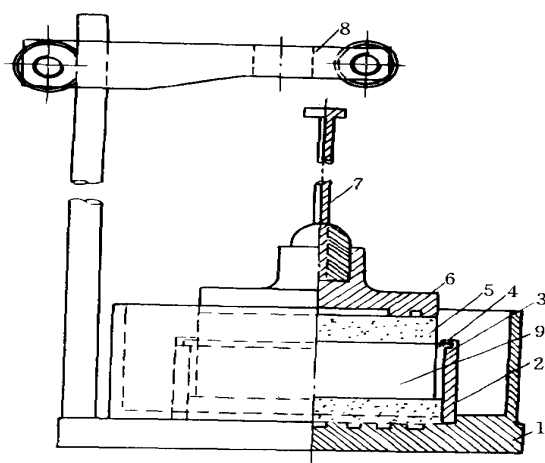


图 14.1.2 固结仪示意图

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) 环刀：内径为61.8mm和79.8mm，高度为20mm。环刀应具有一定的刚度，内壁应保持较高的光洁度，宜涂一薄层硅脂或聚四氟乙烯。

2) 透水板：氧化铝或不受腐蚀的金属材料制成，其渗透系数应大于试样的渗透系数。用固定式容器时，顶部透水板直径应小于环刀内径0.2~0.5mm；用浮环式容器时上下端透水板直径相等，均应小于环刀内径。

2 加压设备：应能垂直地在瞬间施加各级规定的压力，且没有冲击力，压力准确度应符合现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T15406的规定。

3 变形量测设备：量程10mm，最小分度值为0.01mm的百分表或准确度为全量程0.2%的位移传感器。

14.1.3 固结仪及加压设备应定期校准，并应作仪器变形校正曲线，具体操作见有关标准。

14.1.4 试样制备应按本标准第3.1.4条的规定进行。并测定试样的含水率和密度，取切下的余土测定土粒比重。试样需要饱和时，应按本标准第3.2.4条步骤的规定进行抽气饱和。

14.1.5 固结试验应按下列步骤进行：

- 1 在固结容器内放置护环、透水板和薄型滤纸，将带有试样的环刀装入护环内，放上导环、试样上依次放上薄型滤纸、透水板和加压上盖，并将固结容器置于加压框架正中，使加压上盖与加压框架中心对准，安装百分表或位移传感器。

注：滤纸和透水板的湿度应接近试样的湿度。

2 施加1kPa的预压力使试样与仪器上下各部件之间接触，将百分表或传感器调整到零位或测读初读数。

3 确定需要施加的各级压力，压力等级宜为12.5、25、50、100、200、400、800、1600、3200kPa。第一级压力的大小应视土的软硬程度而定，宜用12.5、25kPa或50kPa。最后一级压力应大于土的自重压力与附加压力之和。只需测定压缩系数时，最大压力不小于400kPa。

4 需要确定原状土的先期固结压力时，初始段的荷重率应小于1，可采用0.5或0.25。施加的压力应使测得的 $e - \log p$ 曲线下段出现直线段。对超固结土，应进行卸压、再加压来评价其再压缩特性。

5 对于饱和试样，施加第一级压力后应立即向水槽中注水浸没试样。非饱和试样进行压缩试验时，须用湿棉纱围住加压板周围。

6 需要测定沉降速率、固结系数时，施加每一级压力后宜按下列时间顺序测记试样的高度变化。时间为6s、15s、1min、2min、15s、4min、6min、15s、9min、12min、15s、16min、20min、15s、25min、30min、15s、36min、42min、15s、49min、64min、100min、200min、400min、23h、24h，至稳定为止。不需要测定沉降速率时，则施加每级压力后24h测定试样高度变化作为稳定标准，只需测定压缩系数的试样，施加每级压力后，每小时变形达0.01mm时，测定试样高度变化作为稳定标准。按此步骤逐级加压至试验结束。

注：测定沉降速率仅适用饱和土。

7 需要进行回弹试验时，可在某级压力下固结稳定后退压，直至退到要求的压力，每次退压至24h后测定试样的回弹量。

8 试验结束后吸去容器中的水，迅速拆除仪器各部件，取出整块试样，测定含水率。

14.1.6 试样的初始孔隙比，应按下式计算：

$$e_0 = \frac{(1 + w_0)G_s}{\rho_w} - 1 \quad (14.1.6)$$

式中 e_0 ——试样的初始孔隙比。

14.1.7 各级压力下试样固结稳定后的单位沉降量，应按下式计算：

$$S_i = \frac{\sum \Delta h_i}{h_0} \times 10^3 \quad (14.1.7)$$

式中 S_i ——某级压力下的单位沉降量(mm/m)；

h_0 ——试样初始高度(mm)；

$\sum \Delta h_i$ ——某级压力下试样固结稳定后的总变形量(mm)(等于该级压力下固结稳定读数减去仪器变形量)；

10^3 ——单位换算系数。

14.1.8 各级压力下试样固结稳定后的孔隙比，应按下式计算：

$$e_i = e_0 - \frac{1 + e_0}{h_0} \Delta h_i \quad (14.1.8)$$

式中 e_i ——各级压力下试样固结稳定后的孔隙比。

14.1.9 某一压力范围内的压缩系数，应按下式计算：

$$a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (14.1.9)$$

式中 a_v —压缩系数(MPa^{-1}) ;
 p_i —某级压力值(MPa)。

14.1.10 某一压力范围内的压缩模量,应按下式计算:

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a_v} \quad (14.1.10)$$

式中 E_s —某压力范围内的压缩模量(MPa)。

14.1.11 某一压力范围内的体积压缩系数,应按下式计算:

$$m_v = \frac{1}{E_s} = \frac{a_v}{1 + e_v} \quad (14.1.11)$$

式中 m_v —某压力范围内的体积压缩系数(MPa^{-1})。

14.1.12 压缩指数和回弹指数,应按下式计算:

$$C_c \text{ 或 } C_s = \frac{e_i - e_{i+1}}{\log p_{i+1} - \log p_i} \quad (14.1.12)$$

式中 C_c —压缩指数,
 C_s —回弹指数。

14.1.13 以孔隙比为纵坐标,压力为横坐标绘制孔隙比与压力的关系曲线,见图14.1.13。

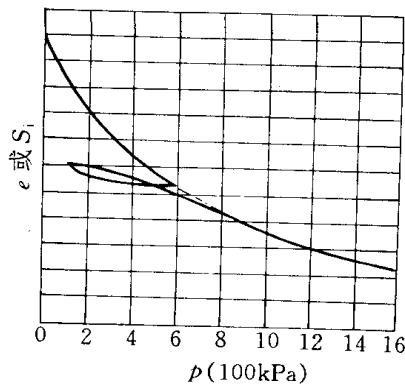


图 14.1.13 $e(S_v)-p$ 关系曲线

14.1.14 以孔隙比以纵坐标,以压力的对数为横坐标,绘制孔隙比与压力的对数关系曲线,见图14.1.14。

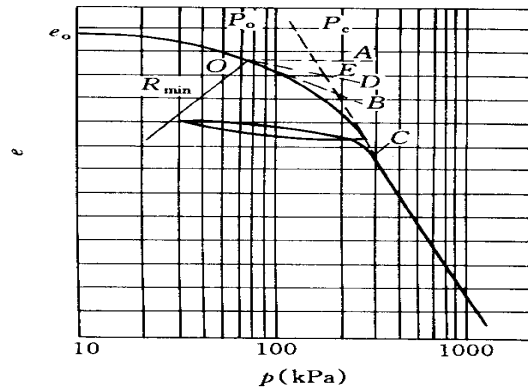


图 14.1.14 $e-\log p$ 曲线求 p_c 示意图

14.1.15 原状土试样的先期固结压力，应按下列方法确定。在 $e-\log p$ 曲线上找出最小曲率半径及 R_{\min} 的点 O (见本标准图14.1.14)，过 O 点做水平线 OA ，切线 OB 及 $\angle AOB$ 的平分线 OD ， OD 与曲线下段直线段的延长线交于 E 点，则对应于 E 点的压力值即为该原状土试样的先期固结压力。

14.1.16 固结系数应按下列方法确定：

1 时间平方根法：对某一级压力，以试样的变形为纵坐标，时间平方根为横坐标，绘制变形与时间平方根关系曲线(图14.1.16—1)，延长曲线开始段的直线，交纵坐标于 d_s 为理论零点，过 d_s 作另一一直线，令其横坐标为前一直线横坐标的1.15倍，则后一直线与 $d-\sqrt{t}$ 曲线交点所对应的的时间的平方即为试样固结度达90%所需的时间 t_{90} ，该级压力下的固结系数应按下列式计算：

$$C_v = \frac{0.848\bar{h}^2}{t_{90}} \quad (14.1.16-1)$$

式中 C_v ——固结系数(cm^2/s)

\bar{h} ——最大排水距离，等于某级压力下试样的初始和终了高度的平均值之半(cm)。

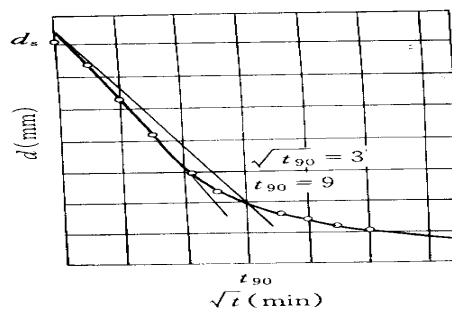


图 14.1.16-1 时间平方根法求 t_{90}

2 时间对数法：对某一级压力，以试样的变形为纵坐标，时间的对数为横坐标，绘制变形与时间对数关系曲线(图14.1.16—2)，在关系曲线的开始段，选任一时间 t_1 ，查得相对应的变形值 d_1 ，再取时间 $t_2 = t_1/4$ ，查得相对应的变形值 d_2 ，则 $2d_2 - d_1$ 即为 d_{01} ；另取一时间依同法求得 d_{02} 、 d_{03} 、 d_{04} 等，取其平均值为理论零点 d_s ，延长曲线中部的直线段和通过曲线尾部数点切线的交点即为理论终点 d_{100} ，则 $d_{50} = (d_s + d_{100})/2$ ，对应于 d_{50} 的时间即为试样固结度达50%所需的时间 t_{50} ，某一级压力下的固结系数应按下列式

计算：

$$C_v = \frac{0.197h^2}{t_{50}} \quad (14.1.16-2)$$

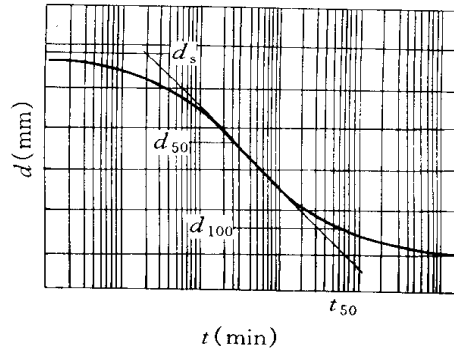


图 14.1.16-2 时间对数法求 t_{50}

14.1.17 固结试验的记录格式见附录D表D—23。

14.2 应变控制连续加荷固结试验

14.2.1 本试验方法适用于饱和的细粒土。

14.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 固结容器：由刚性底座(具有连接测孔隙水压力装置的通孔)、护环、环刀、上环、透水板、加压上盖和密封圈组成。底部可测孔隙水压力(图14.2.2)。

1)环刀：直径61.8mm，高度20mm，一端有刀刃，应具有一定刚度，内壁应保持较高的光洁度，宜涂一薄层硅脂或聚四氟乙烯。

2)透水板：由氧化铝或不受腐蚀的金属材料制成。渗透系数应大于试样的渗透系数。试样上部透水板直径宜小于环刀内径0.2~0.5mm，厚度5mm。

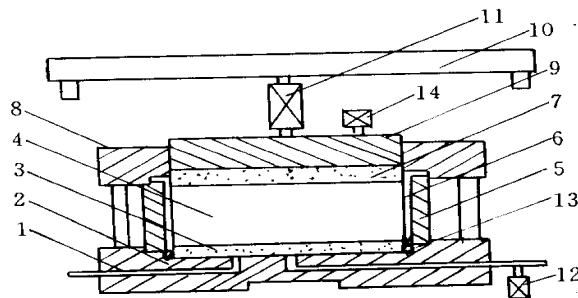


图 14.2.2 固结仪组装示意图

- 1—底座；2—排气孔；3—下透水板；4—试样；
5—护环；6—环刀；7—上透水板；8—上盖；
9—加压上盖；10—加荷梁；11—负荷传感器；
12—孔压传感器；13—密封圈；14—位移传感器

2 轴向加压设备：应能反馈、伺服跟踪连续加荷。轴向测力计(负荷传感器，量程为0~10kN)量测误差应小于、等于1%。

3 孔隙水压力量测设备：压力传感器，量程0~1MPa，准确度应小于、等于0.5%，其体积因数应小于 $1.5 \times 10^{-5} \text{cm}^3/\text{kPa}$ 。

4 变形量测设备：位移传感器，量程0~10mm，准确度为全量程的0.2%。

5 采集系统和控制系统：压力和变形范围应满足试验要求。

14.2.3 固结容器、加压设备、量测系统和控制采集系统应定期率定。具体操作可见仪器说明书。

14.2.4 连续加荷固结试验应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本标准第3.1.4条的步骤进行。从切下的余土中取代表性试样测定土粒比重和含水率，试样需要饱和时，应按本标准第3.2.4条的步骤进行。

2 将固结容器底部孔隙水压力阀门打开充纯水，排除底部及管路中滞留的气泡，将装有试样的环刀装入护环，依次将透水板、薄型滤纸、护环置于容器底座上，关孔隙水压力阀，在试样顶部放薄型滤纸、上透水板，套上上盖，用螺丝拧紧，使上盖、护环和底座密封，然后放上加压上盖，将整个容器移入轴向加荷设备正中，调平，装上位移传感器。对试样施加1kPa的预压力，使仪器上、下各部件接触，调整孔隙水压力传感器和位移传感器至零位或初始读数。

3 选择适宜的应变速率，其标准是使试验时的任何时间内试样底部产生的孔隙水压力为同时施加轴向荷重的3%~20%，应变速率可按表14.2.4选择估算值。

表14.2.4 应变速率估算值

液限 (%)	应变速率 (%/min)	备注
0~40	0.04	液限为下沉17mm时的含水率或碟式仪液限
40~60	0.01	
60~80	0.004	
80~100	0.001	

4 接通控制系统、采集系统和加压设备的电源，预热30min。待装样完毕，采集初始读数，在所选的应变速率下，对试样施加轴向压力，仪器按试验要求自动加压，定时采集数据或打印，数据采集时间间隔，在历时前10min每隔1min，随后1h内每隔5min；1h后每隔15 min或30min采集一次轴向压力、孔隙水压力和变形值。

5 连续加压至预期的压力为止。当轴向压力施加完毕后，在轴向压力不变条件下，使孔隙水压力消散。

6 要求测定回弹或卸荷特性时，试样在同样的应变速率下卸荷，卸荷时关闭孔隙水压力阀，按本条4款的规定时间间隔记录轴向压力和变形值。

7 试验结束，关电源，拆除仪器，取出试样，称试样质量，测定试验后试样的含水率。

14.2.5 试样初始孔隙比应按式(14.1.6)计算。

14.2.6 任意时刻时试样的孔隙比应按式(14.1.8)计算。

14.2.7 任意时刻施加于试样的有效压力应按下式计算：

$$\sigma'_i = \sigma_i - \frac{2}{3}u_b \quad (14.2.7)$$

式中 σ'_i ——任意时刻时施加于试样的有效压力(kPa)；

σ_i ——任意时刻时施加于试样的总压力(kPa)；

u_b ——任意时刻试样底部的孔隙压力(kPa)。

14.2.8 某一压力范围内的压缩系数，应按下式计算：

$$a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{i_{i+1} - i_i} \quad (14.2.8)$$

14.2.9 某一压力范围内的压缩指数，回弹指数应按下式计算：

$$C_c(C_s) = \frac{e_i - e_{i+1}}{\log i_{i+1} - \log i_i} \quad (14.2.9)$$

14.2.10 任意时刻试样的固结系数应按下列式计算：

$$C_v = \frac{\Delta \sigma'}{\Delta t} \cdot \frac{H_i^2}{2u_b} \quad (14.2.10)$$

式中 $\Delta \sigma'$ —— Δt 时段内施加于试样的有效压力增量(kPa)；

Δt —— 两次读数之间的历时(s)；

H_i —— 试样在 t 时刻的高度(mm)；

u_b —— 两次读数之间底部孔隙水压力的平均值(kPa)。

14.2.11 某一压力范围内试样的体积压缩系数，应按下列式计算：

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} \cdot \frac{1}{1+e_0} \quad (14.2.11)$$

式中 Δe —— 在 $\Delta \sigma'$ 作用下，试样孔隙比的变化。

14.2.12 以孔隙比为纵坐标，有效压力为横坐标，在单对数坐标纸上，绘制孔隙比与有效压力关系曲线(图14.2.12)。

14.2.13 以固结系数为纵坐标，有效压力为横坐标，绘制固结系数与有效压力关系曲线(图14.2.13)。

14.2.14 连续加荷固结试验的记录格式见附录D表D—24。

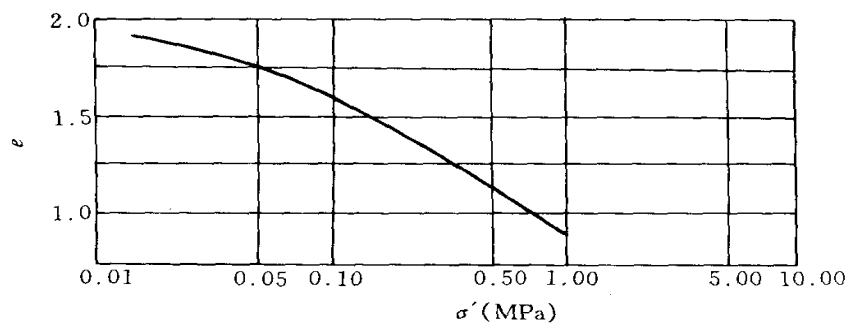


图 14.2.12 $e-\sigma'$ 关系曲线

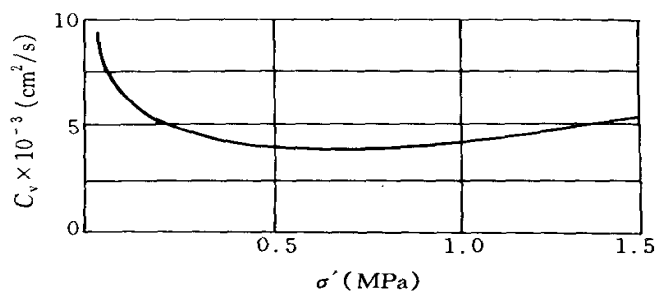


图 14.2.13 $C_v-\sigma'$ 关系曲线

15 黄土湿陷试验

15.1 一般规定

15.1.1 本试验方法适用于各种黄土类土。

15.1.2 本试验应根据工程要求，分别测定黄土的湿陷系数、自重湿陷系数、溶滤变形系数和湿陷起始压力。

15.1.3 进行本试验时，从同一土样中制备的试样，其密度的允许差值为 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

15.1.4 本试验所用的仪器设备,应符合本标准第14.1.2条的规定,环刀内径为79.8mm。试验所用的滤纸及透水石的湿度应接近试样的天然湿度。

15.1.5 黄土湿陷试验的变形稳定标准为每小时变形不大于0.01mm;溶滤变形稳定标准为每3d变形不大于0.01mm。

15.2 湿陷系数试验

15.2.1 湿陷系数试验,应按下列步骤进行:

1 试样制备应按本标准第3.1.4条的步骤进行;试样安装应按本标准第14.1.5条1、2款的步骤进行。

2 确定需要施加的各级压力,压力等级宜为50、100、150、200kPa,大于200kPa后每级压力为100kPa。最后一级压力应按取土深度而定:从基础底面算起至10m深度以内,压力为200kPa;10m以下至非湿陷土层顶面,应用其上覆土的饱和自重压力(当大于300kPa时,仍应用300kPa)。当基底压力大于300kPa时(或有特殊要求的建筑物),宜按实际压力确定。

3 施加第一级压力后,每隔1h测定一次变形读数,直至试样变形稳定为止。

4 试样在第一级压力下变形稳定后,施加第二级压力,如此类推。试样在规定浸水压力下变形稳定后,向容器内自上而下或自下而上注入纯水,水面宜高出试样顶面,每隔1h测记一次变形读数,直至试样变形稳定为止。

5 测记试样浸水变形稳定读数后,按本标准第14.1.5条8款步骤的规定拆卸仪器及试样。

15.2.2 湿陷系数应按下列式计算:

$$s = \frac{h_1 - h_2}{h_0} \quad (15.2.2)$$

式中 s ——湿陷系数;

h_1 ——在某级压力下,试样变形稳定后的高度(mm);

h_2 ——在某级压力下,试样浸水湿陷变形稳定后的高度(mm)。

15.2.3 湿陷系数试验的记录格式见附录D表D—25。

15.3 自重湿陷系数试验

15.3.1 自重湿陷系数试验应按下列步骤进行:

1 试样制备应按本标准第3.1.4条的步骤进行;试样安装应按本标准第14.1.5条1、2款的步骤进行。

2 施加土的饱和自重压力,当饱和自重压力小于、等于50kPa时,可一次施加;当压力大于50kPa时,应分级施加,每级压力不大于50kPa,每级压力时间不少于15min,如此连续加至饱和自重压力。加压后每隔1h测记一次变形读数,直至试样变形稳定为止。

3 向容器内注入纯水,水面应高出试样顶面,每隔1h测记一次变形读数,直至试样浸水变形稳定为止。

4 测记试样变形稳定读数后,按本标准第14.1.5条8款的步骤拆卸仪器及试样。

15.3.2 自重湿陷系数应按下列式计算:

$$z_s = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (15.3.2)$$

式中 z_s ——自重湿陷系数;

h_z ——在饱和自重压力下,试样变形稳定后的高度(mm);

h'_z ——在饱和自重压力下,试样浸水湿陷变形稳定后的高度(mm)。

15.3.3 自重湿陷系数试验记录格式见附录D表D—26。

15.4 溶滤变形系数试验

15.4.1 溶滤变形系数试验应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本标准第3.1.4条的步骤进行；试样安装应按本标准第14.1.5条1、2款的步骤进行。

2 试验按本标准第15.2.1条2—4款的步骤进行后继续用水渗透，每隔2h测记一次变形读数，24h后每天测记1—3次，直至变形稳定为止。

3 测记试样溶滤变形稳定读数后，按本标准第14.1.5条8款的步骤拆卸仪器及试样。

15.4.2 溶滤变形系数应按下列式计算：

$$w_f = \frac{h_z - h_s}{h_0} \quad (15.4.2)$$

式中 w_f ——溶滤变形系数；

h_s ——在某级压力下，长期渗透而引起的溶滤变形稳定后的试样高度(mm)。

15.4.3 溶滤变形系数试验的记录格式见附录D表D—25。

15.5 湿陷起始压力试验

15.5.1 本试验可用单线法或双线法。

15.5.2 湿陷起始压力试验应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本标准第3.1.4条的步骤进行，单线法切取5个环刀试样，双线法切取2个环刀试样；试样安装应按本标准第14.1.5条1、2款的步骤进行。

2 单线法试验：对5个试样均在天然湿度下分级加压，分别加至不同的规定压力，按本标准第15.2.1条2~4款的步骤进行试验，直至试样湿陷变形稳定为止。

3 双线法试验：一个试样在天然湿度下分级加压，按本标准第15.2.1条2~4款的步骤进行试验，直至湿陷变形稳定为止；另一个试样在天然湿度下施加第一级压力后浸水，直至第一级压力下湿陷稳定后，再分级加压，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。

4 测记试样湿陷变形稳定读数后，按本标准第14.1.5条8款的步骤拆卸仪器及试样。

15.5.3 各级压力下的湿陷系数应按下列式计算：

$$s_p = \frac{h_{pn} - h_{pw}}{h_0} \quad (15.5.3)$$

式中 s_p ——各级压力下的湿陷系数；

h_{pw} ——在各级压力下试样浸水变形稳定后的高度(mm)；

h_{pn} ——在各级压力下试样变形稳定后的高度(mm)。

15.5.4 以压力为横坐标、湿陷系数为纵坐标，绘制压力与湿陷系数关系曲线(图15.5.4)，湿陷系数为0.015所对应的压力即为湿陷起始压力。

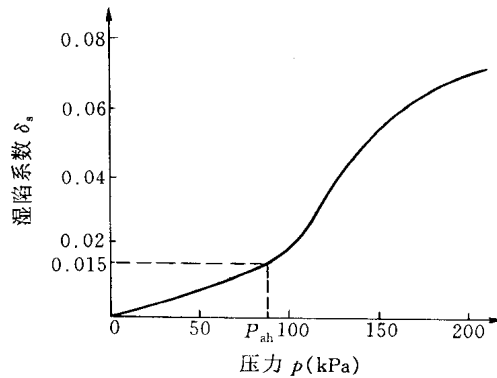


图15.5.4 湿陷系数与压力关系曲线

15.5.5 湿陷起始压力试验记录格式见附录D表D—27。

16 三轴压缩试验

16.1 一般规定

16.1.1 本试验方法适用于细粒土和粒径小于20mm的粗粒土。

16.1.2 本试验应根据工程要求分别采用不固结不排水剪(UU)试验、固结不排水剪(CU)测孔隙水压力(\overline{CU})试验和固结排水剪(CD)试验。

16.1.3 本试验必须制备3个以上性质相同的试样，在不同的周围压力下进行试验。周围压力宜根据工程实际荷重确定。对于填土，最大一级周围压力应与最大的实际荷重大致相等。

注：试验宜在恒温条件下进行。

16.2 仪器设备

16.2.1 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 应变控制式三轴仪(图16.2.1—1)：由压力室、轴向加压设备、周围压力系统、反压力系统、孔隙水压力量测系统、轴向变形和体积变化量测系统组成。

2 附属设备：包括击样器、饱和器、切土器、原状土分样器、切土盘、承膜筒和对开圆膜，应符合下图要求：

- 1) 击样器(图16.2.1—2)，饱和器(图16.2.1—3)。
- 2) 切土盘、切土器和原状土分样器(图16.2.1—4)。
- 3) 承膜筒及对开圆膜(图16.2.1—5及图16.2.1—6)。

3 天平：称量200g，最小分度值0.01g；称量1000g，最小分度值0.1g。

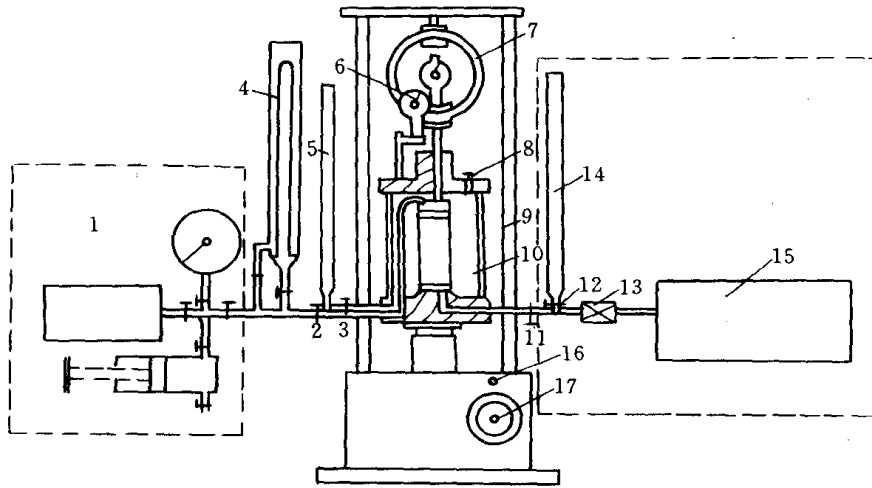


图 16.2.1-1 应变控制式三轴仪

1—周围压力系统；2—周围压力阀；3—排水阀；4—体变管；5—排水管；
6—轴向位移表；7—测力计；8—排气孔；9—轴向加压设备；10—压力室；11—孔压阀；
12—量管阀；13—孔压传感器；14—量管；15—孔压量测系统；16—离合器；17—手轮

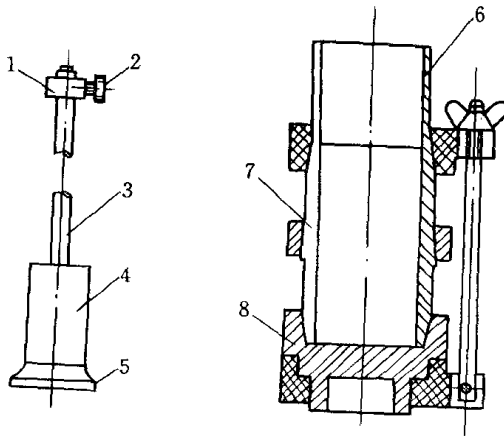


图 16.2.1-2 击样器

1—套环；2—定位螺丝；3—导杆；4—击锤；
5—底板；6—套筒；7—击样筒；8—底座

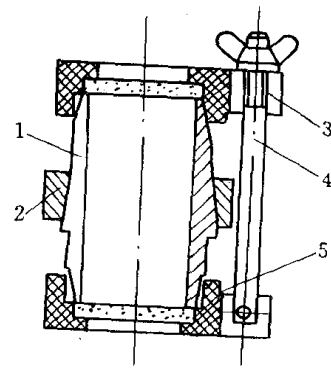


图 16.2.1-3 饱和器

1—圆模(3片)；2—紧箍；
3—夹板；4—拉杆；5—透水板

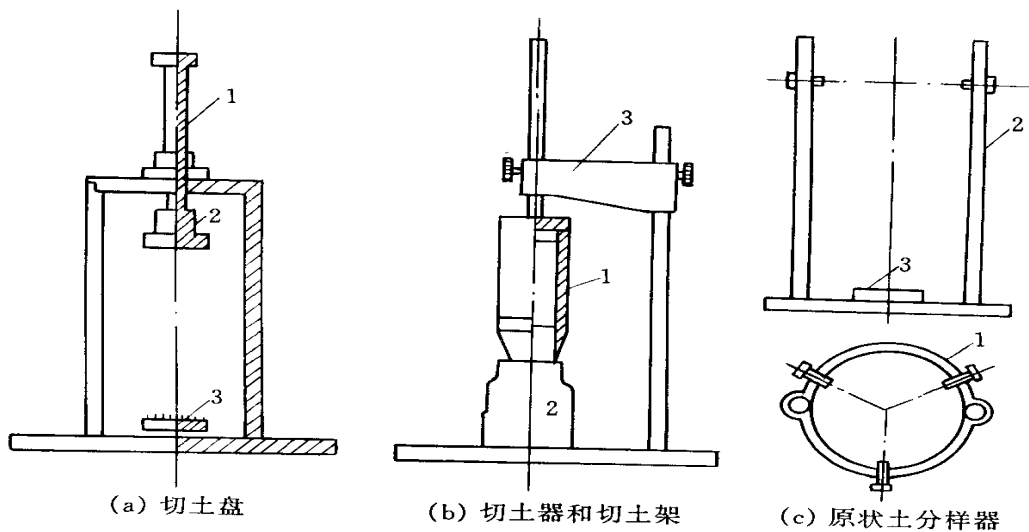


图 16.2.1-4 原状土切土盘分样器

(a): 1—轴; 2—上盘; 3—下盘
 (b): 1—切土器; 2—土样; 3—切土架 (c): 1—钢丝架; 2—滑杆; 3—底盘

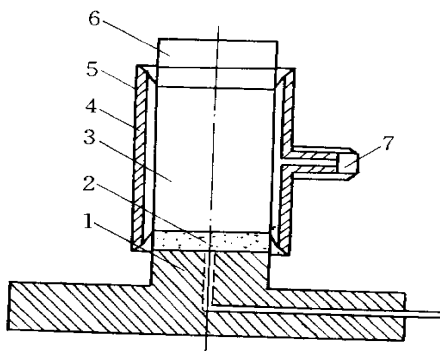


图 16.2.1-5 承膜筒

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

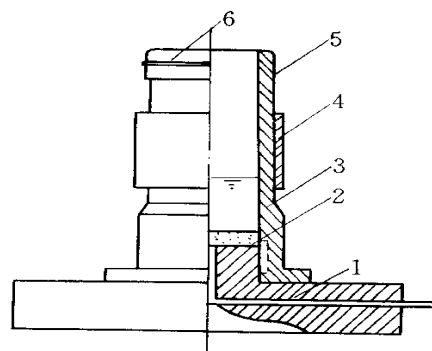


图 16.2.1-6 对开圆模

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

4 橡皮膜: 应具有弹性的乳胶膜, 对直径39.1和61.8mm的试样, 厚度以0.1~0.2mm为宜, 对直径101mm的试样, 厚度以0.2~0.3mm为宜。

5 透水板: 直径与试样直径相等, 其渗透系数宜大于试样的渗透系数, 使用前在水中煮沸并泡于水中。

16.2.2 试验时的仪器, 应符合下列规定:

1 周围压力的测量准确度应为全量程的1%, 根据试样的强度大小, 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 孔隙水压力量测系统内的气泡应完全排除。系统内的气泡可用纯水冲出或施加压力使气泡溶解于水, 并从试样底座溢出。整个系统的体积变化因数应小于 $1.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kPa}$ 。

3 管路应畅通, 各连接处应无漏水, 压力室活塞杆在轴套内应能滑动。

4 橡皮膜在使用前应作仔细检查, 其方法是扎紧两端, 向膜内充气, 在水中检查, 应无气泡溢出, 方可使用。

16.3 试样制备和饱和

16.3.1 本试验采用的试样最小直径为 35mm,最大直径为 101mm,试样高度宜为试样直径的2~2.5倍,试样的允许最大粒径应符合表16.3.1的规定。对于有裂缝、软弱面和构造面的试样,试样直径宜大于60mm。

表16.3.1 试样的土粒最大粒径(mm)

试样直径	允许最大粒径
< 100	试样直径的1/10
> 100	试样直径的1/5

16.3.2 原状土试样制备应按本标准第16.3.1条的规定将土样切成圆柱形试样。

1 对于较软的土样,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,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。试样切削时应避免扰动,当试样表面遇有砾石或凹坑时,允许用削下的余土填补。

2 对较硬的土样,先用切土刀切取一稍大于规定尺寸的土柱,放在切土架上,用切土器切削土样,边削边压切土器,直至切削到超出试样高度约2cm为止。

3 取出试样,按规定的高度将两端削平,称量。并取余土测定试样的含水率。

4 对于直径大于10cm的土样,可用分样器切成3个土柱,按上述方法切取 39.1mm的试样。

16.3.3 扰动土试样制备应根据预定的干密度和含水率,按本标准第3.1.5条的步骤备样后,在击样器内分层击实,粉土宜为3~5层,粘土宜为5—8层,各层土料数量应相等,各层接触面应刨毛。击完最后一层,将击样器内的试样两端整平,取出试样称量。对制备好的试样,应量测其直径和高度。试样的平均直径应按下列式计算:

$$D_0 = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4} \quad (16.3.3)$$

式中 D_1, D_2, D_3 ——分别为试样上、中、下部位的直径(mm)。

16.3.4 砂类土的试样制备应先在压力室底座上依次放上不透水板,橡皮膜和对开圆模(见图16.2.1—6)。根据砂样的干密度及试样体积,称取所需的砂样质量,分三等分,将每份砂样填入橡皮膜内,填至该层要求的高度,依次第二层、第三层,直至膜内填满为止。当制备饱和试样时,在压力室底座上依次放透水板,橡皮膜和对开圆模,在膜内注入纯水至试样高度的1/3,将砂样分三等分,在水中煮沸,待冷却后分三层,按预定的干密度填入橡皮膜内,直至膜内填满为止。当要求的干密度较大时,填砂过程中,轻轻敲打对开圆模,使所称的砂样填满规定的体积,整平砂面,放上不透水板或透水板,试样帽,扎紧橡皮膜。对试样内部施加5kPa负压力使试样能站立,拆除对开圆模。

16.3.5 试样饱和宜选用下列方法:

1 抽气饱和:将试样装入饱和器内,按本标准第3.2.4条2~4款的步骤进行。

2 水头饱和:将试样按本标准第16.5.1条的步骤安装于压力室内。试样周围不贴滤纸条。施加20kPa周围压力。提高试样底部量管水位,降低试样顶部量管的水位,使两管水位差在1m左右,打开孔隙水压力阀、量管阀和排水管阀,使纯水从底部进入试样,从试样顶部溢出,直至流入水量和溢出水量相等为止。当需要提高试样的饱和度时,宜在水头饱和前,从底部将二氧化碳气体通入试样,置换孔隙中的空气。二氧化碳的压力以5~10kPa为宜,再进行水头饱和。

3 反压力饱和:试样要求完全饱和时,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,关闭孔隙水压力阀、反压力阀、

体变管阀、测记体变管读数。开周围压力阀，先对试样施加20kPa的周围压力，开孔隙水压力阀，待孔隙水压力变化稳定，测记读数，关孔隙水压力阀。反压力应分级施加，同时分级施加周围压力，以尽量减少对试样的扰动。周围压力和反压力的每级增量宜为30kPa，开体变管阀和反压力阀，同时施加周围压力和反压力，缓慢打开孔隙水压力阀，检查孔隙水压力增量，待孔隙水压力稳定后，测记孔隙水压力和体变管读数，再施加下一级周围压力和孔隙水压力。计算每级周围压力引起的孔隙水压力增量，当孔隙水压力增量与周围压力增量之比 $\Delta u/\Delta \sigma_3 > 0.98$ 时，认为试样饱和。

16.4 不固结不排水剪试验

16.4.1 试样的安装，应按下列步骤进行：

1 在压力室的底座上，依次放上不透水板、试样及不透水试样帽，将橡皮膜用承膜筒套在试样外，并用橡皮圈将橡皮膜两端与底座及试样帽分别扎紧。

2 将压力室罩顶部活塞提高，放下压力室罩，将活塞对准试样中心，并均匀地拧紧底座连接螺母。向压力室内注满纯水，待压力室顶部排气孔有水溢出时，拧紧排气孔，并将活塞对准测力计和试样顶部。

3 将离合器调至粗位，转动粗调手轮，当试样帽与活塞及测力计接近时，将离合器调至细位，改用细调手轮，使试样帽与活塞及测力计接触，装上变形指示计，将测力计和变形指示计调至零位。

4 关排水阀，开周围压力阀，施加周围压力。

16.4.2 剪切试样应按下列步骤进行：

1 剪切应变速率宜为每分钟应变0.5%~1.0%。

2 启动电动机，合上离合器，开始剪切。试样每产生0.3%~0.4%的轴向应变(或0.2mm变形值)，测记一次测力计读数和轴向变形值。当轴向应变大于3%时，试样每产生0.7%~0.8%的轴向应变(或0.5mm变形值)，测记一次。

3 当测力计读数出现峰值时，剪切应继续进行到轴向应变为15%~20%。

4 试验结束，关电动机，关周围压力阀，脱开离合器，将离合器调至粗位，转动粗调手轮，将压力室降下，打开排气孔，排除压力室内的水，拆卸压力室罩，拆除试样，描述试样破坏形状，称试样质量，并测定含水率。

16.4.3 轴向应变应按下列式计算：

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h_1}{h_0} \times 100 \quad (16.4.3)$$

式中 ϵ_1 —轴向应变(%)；

h_1 —剪切过程中试样的高度变化(mm)；

h_0 —试样初始高度(mm)。

16.4.4 试样面积的校正，应按下列式计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - \epsilon_1} \quad (16.4.4)$$

式中 A_a —试样的校正断面积(cm^2)；

A_0 —试样的初始断面积(cm^2)。

16.4.5 主应力差应按下列式计算：

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{CR}{A_a} \times 10 \quad (16.4.5)$$

式中 $\sigma_1 - \sigma_3$ —主应力差(kPa)；

- σ_1 ——大总主应力(kPa)；
- σ_3 ——小总主应力(kPa)；
- C ——测力计率定系数(N/0.01mm或N/mV)；
- R ——测力计读数(0.01mm)；
- 10——单位换算系数。

16.4.6 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(图16.4.6)。取曲线上主应力差的峰值作为破坏点，无峰值时，取15%轴向应变时的主应力差值作为破坏点。

16.4.7 以剪应力为纵坐标，法向应力为横坐标，在横坐标轴以破坏时的 $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ 为圆心，以 $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ 为半径，在 $\sigma - \tau$ 应力平面上绘制破损应力圆，并绘制不同周围压力下破损应力圆的包线，求出不排水强度参数(图16.4.7)。

16.4.8 不固结不排水剪试验的记录格式，见附录D表D—28。

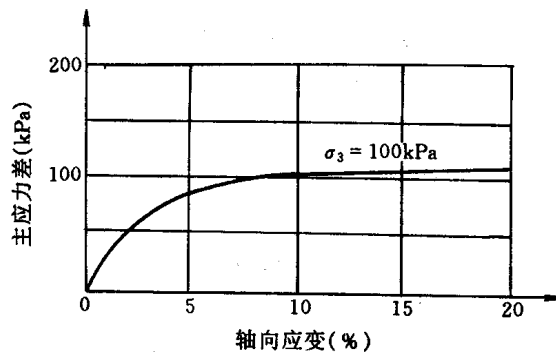


图 16.4.6 主应力差与轴向应变关系曲线

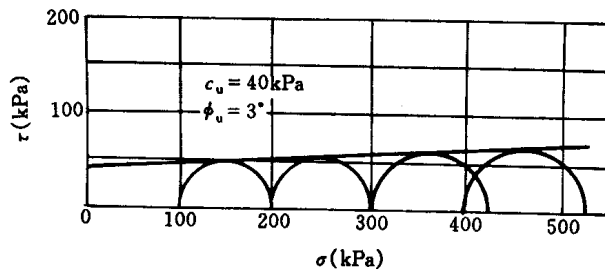


图 16.4.7 不固结不排水剪强度包线

16.5 固结不排水剪试验

16.5.1 试样的安装，应按下列步骤进行：

1 开孔隙水压力阀和量管阀，对孔隙水压力系统及压力室底座充水排气后，关孔隙水压力阀和量管阀。压力室底座上依次放上透水板、湿滤纸、试样、湿滤纸、透水板，试样周围贴浸水的滤纸条7~9条。将橡皮膜用承膜筒套在试样外，并用橡皮圈将橡皮膜下端与底座扎紧。打开孔隙水压力阀和量管阀，使水缓慢地从试样底部流入，排除试样与橡皮膜之间的气泡，关闭孔隙水压力阀和量管阀。打开排水阀，使试样帽中充水，放在透水板上，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20~40cm，吸除试样与橡皮膜之间的余水，关排水阀。需要测定土的应力应变关系时，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，膜中间应留有直

径为1cm的圆孔排水。

2 压力室罩安装、充水及测力计调整应按本标准第16.4.1条3款的步骤进行。

16.5.2 试样排水固结应按下列步骤进行：

1 调节排水管使管内水面与试样高度的中心齐平，测记排水管水面读数。

2 开孔隙水压力阀，使孔隙水压力等于大气压力，关孔隙水压力阀，记下初始读数。当需要施加反压力时，应按本标准第16.3.5条3款的步骤进行。

3 将孔隙水压力调至接近周围压力值，施加周围压力后，再打开孔隙水压力阀，待孔隙水压力稳定测定孔隙水压力。

4 打开排水阀。当需要测定排水过程时，应按本标准第14.1.5条6款的步骤测记排水管水面及孔隙水压力读数，直至孔隙水压力消散95%以上。固结完成后，关排水阀，测记孔隙水压力和排水管水面读数。

5 微调压力机升降台，使活塞与试样接触，此时轴向变形指示计的变化值为试样固结时的高度变化。

16.5.3 剪切试样应按下列步骤进行：

1 剪切应变速率粘土宜为每分钟应变0.05%~0.1%；粉土为每分钟应变0.1%~0.5%。

2 将测力计、轴向变形指示计及孔隙水压力读数均调整至零。

3 启动电动机，合上离合器，开始剪切。测力计、轴向变形、孔隙水压力应按本标准第16.4.2条2、3款的步骤进行测试。

4 试验结束，关电动机，关各阀门，脱开离合器，将离合器调至粗位，转动粗调手轮，将压力室降下，打开排气孔，排除压力室内的水，拆卸压力室罩，拆除试样，描述试样破坏形状，称试样质量，并测定试样含水率。

16.5.4 试样固结后的高度，应按下式计算：

$$h_c = h_0 \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0} \right)^{1/3} \quad (16.5.4)$$

式中 h_c ——试样固结后的高度(cm)；

ΔV ——试样固结后与固结前的体积变化(cm^3)。

16.5.5 试样固结后的面积，应按下式计算：

$$A_c = A_0 \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0} \right)^{2/3} \quad (16.5.5)$$

式中 A_c ——试样固结后的断面积(cm^2)。

16.5.6 试样面积的校正，应按下式计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - \epsilon_1} \quad (16.5.6)$$

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0}$$

16.5.7 主应力差按本标准式(16.4.5)计算。

16.5.8 有效主应力比应按下式计算：

1 有效大主应力：

$$\sigma_1' = \sigma_1 - u \quad (16.5.8-1)$$

式中 σ_1' ——有效大主应力(kPa)；

u ——孔隙水压力(kPa)。

2 有效小主应力：

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u \quad (16.5.8-2)$$

式中 σ_3' ——有效小主应力(kPa)。

3 有效主应力比：

$$\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'} = 1 + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_3} \quad (16.5.8-3)$$

16.5.9 孔隙水压力系数，应按下式计算：

1 初始孔隙水压力系数：

$$B = \frac{u_0}{\sigma_3} \quad (16.5.9-1)$$

式中 B ——初始孔隙水压力系数；

u_0 ——施加周围压力产生的孔隙水压力(kPa)

2 破坏时孔隙水压力系数：

$$A_f = \frac{u_f}{B(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (16.5.9-2)$$

式中 A_f ——破坏时的孔隙水压力系数；

u_f ——试样破坏时，主应力差产生的孔隙水压力(kPa)。

16.5.10 主应力差与轴向应变关系曲线，应按本标准第16.4.6款的规定绘制(图16.4.6)。

16.5.11 以有效应力比为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制有效应力比与轴向应变曲线(图16.5.11)。

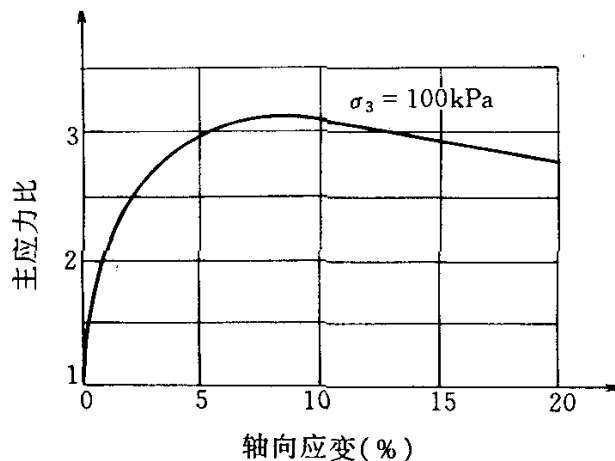


图 16.5.11 有效应力比与轴向应变关系曲线

16.5.12 以孔隙水压力为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制孔隙水压力与轴向应变关系曲线(图16.5.12)。

16.5.13 以 $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ 为纵坐标， $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ 为横坐标，绘制有效应力路径曲线(图16.5.13)。并计算有效内摩擦角和有效粘聚力。

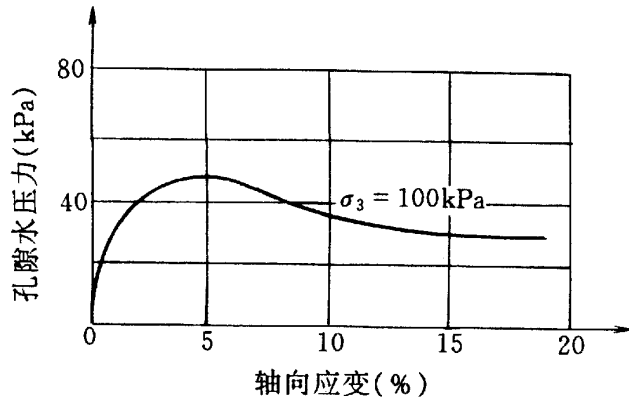


图 16.5.12 孔隙水压力与轴向应变关系曲线

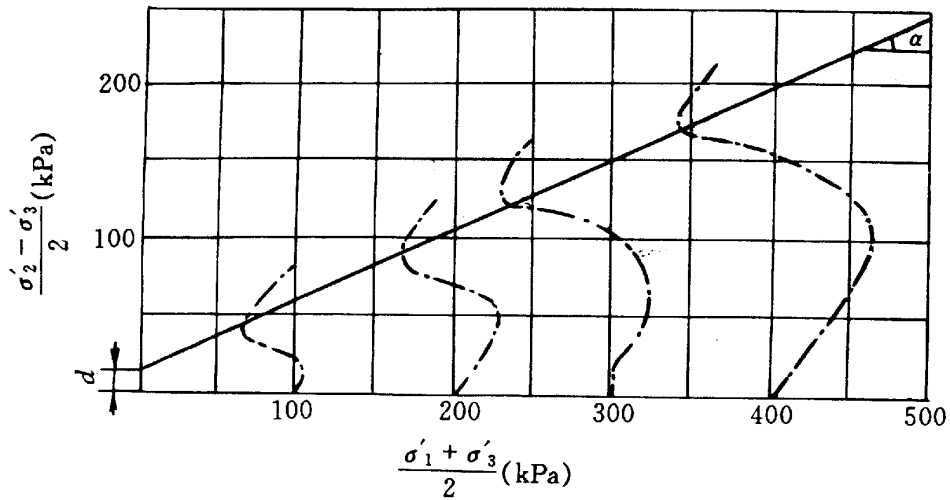


图 16.5.13 应力路径曲线

1 有效内摩擦角：

$$\alpha = \sin^{-1} tga \quad (16.5.13-1)$$

式中 α ——有效内摩擦角()；

a ——应力路径图上破坏点连线的倾角()。

2 有效粘聚力：

$$c' = \frac{d}{\cos \alpha} \quad (16.5.13-2)$$

式中 c' ——有效粘聚力(kPa)

d ——应力路径上破坏点连线在纵轴上的截距(kPa)。

16.5.14 以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%时的主应力差值作为破坏点，按本标准第16.4.7条的规定绘制破损应力圆及不同周围压力下的破损应力圆包线，并求出总应力强度参数；有效内摩擦角和有效粘聚力，应以 $\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$ 为圆心， $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$ 为半径绘制有效破损应力圆确定(图16.5.14)。

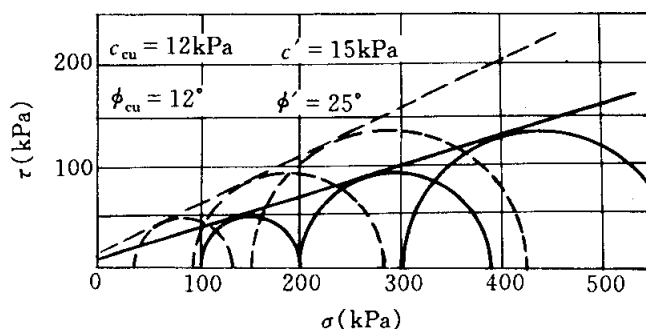


图 16.5.14 固结不排水剪强度包线

16.5.15 固结不排水剪试验的记录格式见附录D表D—29。

16.6 固结排水剪试验

16.6.1 试样的安装、固结、剪切应按本标准第16.5.1~16.5.3条的步骤进行。但在剪切过程中应打开排水阀。剪切速率采用每分钟应变0.003%~0.012%。

16.6.2 试样固结后的高度、面积，应按本标准式(16.5.4)和式(16.5.5)计算。

16.6.3 剪切时试样面积的校正，应按下式计算：

$$A_a = \frac{V_c - \Delta V_i}{h_c - \Delta h_i} \quad (16.6.3)$$

式中 ΔV_i ——剪切过程中试样的体积变化(cm^3)；

Δh_i ——剪切过程中试样的高度变化(cm)。

16.6.4 主应力差按本标准式(16.4.5)计算。

16.6.5 有效应力比及孔隙水压力系数，应按本标准式(16.5.8)和式(16.5.9)计算。

16.6.6 主应力差与轴向应变关系曲线应按本标准第16.4.6条规定绘制。

16.6.7 主应力比与轴向应变关系曲线应按本标准第16.5.11条规定绘制。

16.6.8 以体积应变为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制体应变与轴向应变关系曲线。

16.6.9 破损应力圆，有效内摩擦角和有效粘聚力应按本标准第16.5.14条的步骤绘制和确定(图16.6.9)。

16.6.10 固结排水剪试验的记录格式见附录D表D—30。

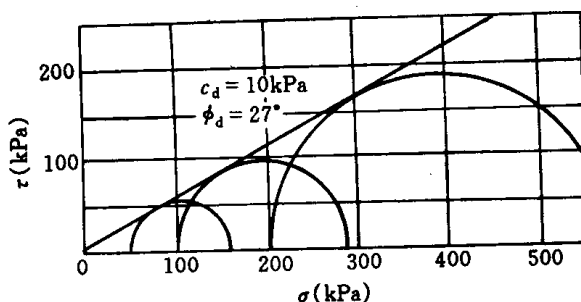


图 16.6.9 固结排水剪强度包线

16.7 一个试样多级加荷试验

16.7.1 本试验仅适用于无法切取多个试样、灵敏度较低的原状土。

16.7.2 不固结不排水剪试验，应按下列步骤进行：

- 1 试样的安装，应按本标准第16.4.1条的步骤进行。

2 施加第一级周围压力，试样剪切应按本标准第16.4.2条1款规定的应变速率进行。当测力计读数达到稳定或出现倒退时，测记测力计和轴向变形读数。关电动机，将测力计调整为零。

3 施加第二级周围压力，此时测力计因施加周围压力读数略有增加，应将测力计读数调至零位。然后转动手轮，使测力计与试样帽接触，并按同样方法剪切到测力计读数稳定。如此进行第三、第四级周围压力下的剪切。累计的轴向应变不超过20%。

4 试验结束后，按本标准第16.4.2条4款的步骤拆除试样，称试样质量，并测定含水率。

5 计算及绘图应按本标准第16.4.3~16.4.7条的规定进行，试样的轴向应变按累计变形计算(图16.7.2)。

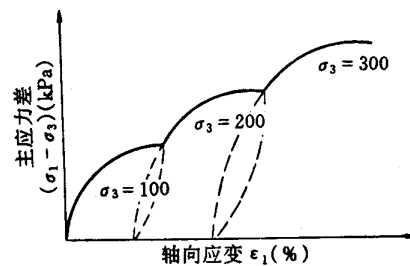


图 16.7.2 不固结不排水剪的应力-应变关系

6.7.3 固结不排水剪试验，应按下列步骤进行：

1 试样的安装，应按本标准第16.5.1条的规定进行。

2 试样固结应按本标准第16.5.2条的规定进行。第一级周围压力宜采用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 试样剪切按本标准第16.5.3条的规定进行。第一级剪切完成后，退除轴向压力，待孔隙水压力稳定后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，第三级周围压力下的剪切，累计的轴向应变不超过20%。

5 试验结束后，拆除试样，称试样质量，并测定含水率。

6 计算及绘图应按本标准第16.5.4~16.5.14条的规定进行。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(图16.7.3)。

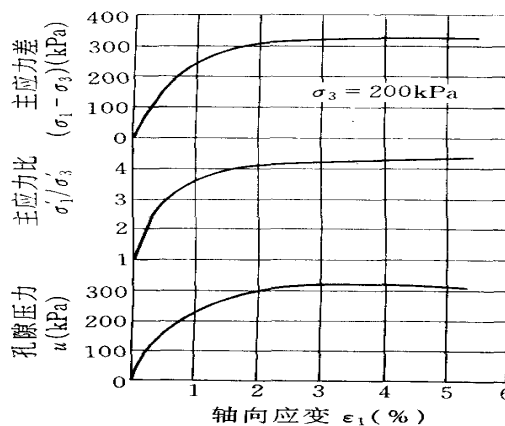


图 16.7.3 固结不排水剪应力-应变关系

16.7.4 一个试样多级加荷试验的记录格式应与本标准第16.4.8和16.5.15条的要求相

同。

17 无侧限抗压强度试验

17.0.1 本试验方法适用于饱和粘土。

17.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1. 应变控制式无侧限压缩仪：由测力计、加压框架、升降设备组成(图17.0.2)。

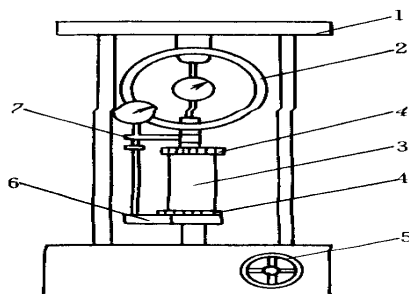


图 17.0.2 应变控制式无侧限压缩仪

1—轴向加荷架；2—轴向测力计；
3—试样；4—上、下传压板；5—手轮；
6—升降板；7—轴向位移计

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，最小分度值0.1g。

17.0.3 原状土试样制备应按本标准第16.3.1、16.3.2条的步骤进行。试样直径宜为35~50mm，高度与直径之比宜采用2.0~2.5。

17.0.4 无侧抗压强度试验，应按下列步骤进行：

1 将试样两端抹一薄层凡士林，在气候干燥时，试样周围亦需抹一薄层凡士林，防止水分蒸发。

2 将试样放在底座上，转动手轮，使底座缓慢上升，试样与加压板刚好接触，将测力计读数调整为零。根据试样的软硬程度选用不同量程的测力计。

3 轴向应变速率宜为每分钟应变1%~3%。转动手柄，使升降设备上升进行试验，轴向应变小于3%时，每隔0.5%应变(或0.4mm)读数一次；轴向应变等于、大于3%时，每隔1%应变(或0.8mm)读数一次。试验宜在8~10min内完成。

4 当测力计读数出现峰值时，继续进行3%~5%的应变后停止试验；当读数无峰值时，试验应进行到应变达20%为止。

5 试验结束，取下试样，描述试样破坏后的形状。

6 当需要测定灵敏度时，应立即将破坏后的试样除去涂有凡士林的表面，加少许余土，包于塑料薄膜内用手搓捏，破坏其结构，重塑成圆柱形，放入重塑筒内，用金属垫板，将试样挤成与原状试样尺寸、密度相等的试样，并按本条1~5款的步骤进行试验。

17.0.5 轴向应变，应按下式计算：

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (17.0.5)$$

17.0.6 试样面积的校正，应按下式计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - \epsilon_1} \quad (17.0.6)$$

17.0.7 试样所受的轴向应力，应按下式计算：

$$= \frac{C \cdot R}{A_a} \times 10 \quad (17.0.7)$$

式中 ——轴向应力(kPa),
10——单位换算系数。

17.0.8 以轴向应力为纵坐标,轴向应变为横坐标,绘制轴向应力与轴向应变关系曲线(图17.0.8)。取曲线上最大轴向应力作为无侧限抗压强度,当曲线上峰值不明显时,取轴向应变15%所对应的轴向应力作为无侧限抗压强度。

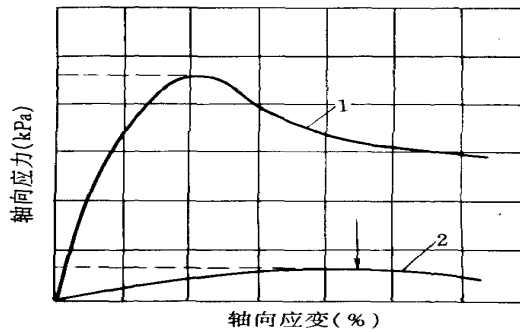


图 17.0.8 轴向应力与轴向应变关系曲线
1—原状试样;2—重塑试样

17.0.9 灵敏度应按下式计算:

$$S_t = \frac{q_u}{q_u} \quad (17.0.9)$$

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)。

17.0.10 无侧限抗压强度试验的记录格式见附录D表D—31。

18 直接剪切试验

18.1 慢剪试验

18.1.1 本试验方法适用于细粒土。

18.1.2 本试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

1 应变控制式直剪仪(图18.1.2):由剪切盒、垂直加压设备、剪切传动装置、测力计、位移量测系统组成。

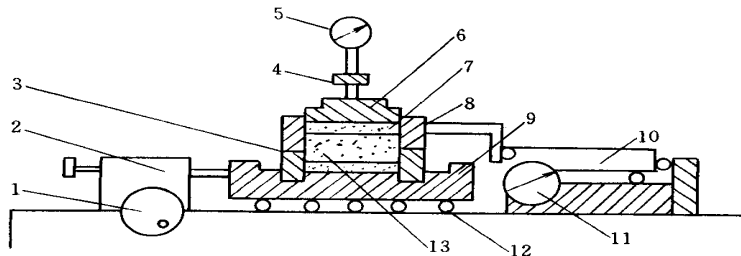


图 18.1.2 应变控制式直剪仪

1—剪切传动机构;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 环刀:内径61.8mm,高度20mm。

3 位移量测设备: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。

18.1.3 慢剪试验，应按下列步骤进行：

1 原状土试样制备，应按本标准第3.1.4条的步骤进行，扰动土试样制备按本标准第3.1.5、3.1.6条的步骤进行，每组试样不得少于4个；当试样需要饱和时，应按本标准第3.2.4条的步骤进行。

2 对准剪切容器上下盒，插入固定销，在下盒内放透水板和滤纸，将带有试样的环刀刃口向上，对准剪切盒口，在试样上放滤纸和透水板，将试样小心地推入剪切盒内。

注：透水板和滤纸的湿度接近试样的湿度。

3 移动传动装置，使上盒前端钢珠刚好与测力计接触，依次放上传压板、加压框架，安装垂直位移和水平位移量测装置，并调至零位或测记初读数。

4 根据工程实际和土的软硬程度施加各级垂直压力，对松软试样垂直压力应分级施加，以防土样挤出。施加压力后，向盒内注水，当试样为非饱和试样时，应在加压板周围包以湿棉纱。

5 施加垂直压力后，每1h测读垂直变形一次。直至试样固结变形稳定。变形稳定标准为每小时不大于0.005mm。

6 拔去固定销，以小于0.02mm/min的剪切速度进行剪切，试样每产生剪切位移0.2~0.4mm测记测力计和位移读数，直至测力计读数出现峰值，应继续剪切至剪切位移为4mm时停机，记下破坏值；当剪切过程中测力计读数无峰值时，应剪切至剪切位移为6mm时停机。

7 当需要估算试样的剪切破坏时间，可按下式计算：

$$t_f = 50t_{50} \quad (18.1.3)$$

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)。

8 剪切结束，吸去盒内积水，退去剪切力和垂直压力，移动加压框架，取出试样，测定试样含水率。

18.1.4 剪应力应按下列式计算：

$$\tau = \frac{C \cdot R}{A_0} \times 10 \quad (18.1.4)$$

式中 τ ——试样所受的剪应力(kPa)；

R ——测力计量表读数(0.01mm)。

18.1.5 以剪应力为纵坐标，剪切位移为横坐标，绘制剪应力与剪切位移关系曲线(图18.1.5)，取曲线上剪应力的峰值为抗剪强度，无峰值时，取剪切位移4mm所对应的剪应力为抗剪强度。

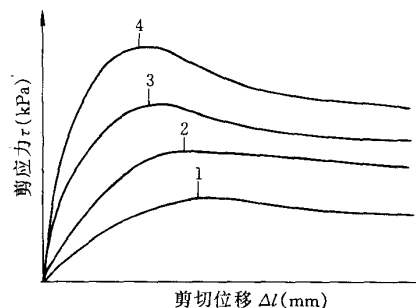


图 18.1.5 剪应力与剪切位移关系曲线

18.1.6 以抗剪强度为纵坐标，垂直压力为横坐标，绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线

(图18.1.6.)，直线的倾角为摩擦角，直线在纵坐标上的截距为粘聚力。

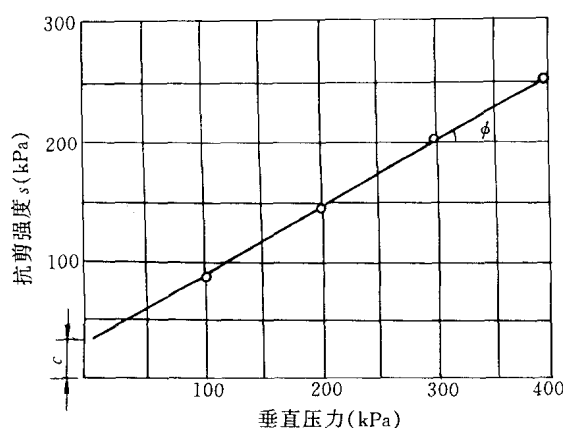


图 18.1.6 抗剪强度与垂直压力关系曲线

18.1.7 慢剪试验的记录格式见附录D表D—32。

18.2 固结快剪试验

18.2.1 本试验方法适用于渗透系数小于 10^{-6} cm/s的细粒土。

18.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应与本标准第18.1.2条相同。

18.2.3 固结快剪试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备、安装和固结，应按本标准第18.1.3条1~5款的步骤进行。

2 固结快剪试验的剪切速度为0.8mm/min，使试样在3~5min内剪损，其剪切步骤应按本标准第18.1.3条6、8款的步骤进行。

18.2.4 固结快剪试验的计算应按本标准第18.1.4条的规定进行。

18.2.5 固结快剪试验的绘图应按本标准第18.1.5、18.1.6条的规定进行。

18.2.6 固结快剪试验的记录格式与本标准第18.1.7条相同。

18.3 快剪试验

18.3.1 本试验方法适用于渗透系数小于 10^{-6} cm/s的细粒土。

18.3.2 本试验所用的主要仪器设备，应与本标准第18.1.2条相同。

18.3.3 快剪试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备、安装应按本标准第18.1.3条1~4款的步骤进行。安装时应以硬塑料薄膜代替滤纸，不需安装垂直位移量测装置。

2 施加垂直压力，拔去固定销，立即以0.8mm/min的剪切速度按本标准第18.1.3条6、8款的步骤进行剪切至试验结束。使试样在3~5min内剪损。

18.3.4 快剪试验的计算应按本标准第18.1.4条的规定进行。

18.3.5 快剪试验的绘图应按本标准第18.1.5、18.1.6条的规定进行。

18.3.6 快剪试验的记录格式与本标准第18.1.7条相同。

18.4 砂类土的直剪试验

18.4.1 本试验方法适用于砂类土。

18.4.2 本试验所用的主要仪器设备，应与本标准第18.1.2条相同。

18.4.3 砂类土的直剪试验，应按下列步骤进行：

1 取过2mm筛的风干砂样1200g，按本标准第3.1.5条的步骤制备砂样。

2 根据要求的试样干密度和试样体积称取每个试样所需的风干砂样质量，准确至0.1g。

3 对准剪切容器上下盒，插入固定销，放干透水板和干滤纸。将砂样倒入剪切容器内，拂平表面，放上硬木块轻轻敲打，使试样达到预定的干密度，取出硬木块，拂平砂面。依次放上干滤纸、干透水板和传压板。

4 安装垂直加压框架，施加垂直压力，试样剪切应按本标准第18.2.3条2款的步骤进行。

18.4.4 砂类土直剪试验的计算，应按本标准第18.1.4条的规定进行。

18.4.5 砂类土直剪试验的绘图，应按本标准第18.1.5、18.1.6条的规定进行。

18.4.6 砂类土直剪试验的记录格式与本标准第18.1.7条相同。

19 反复直剪强度试验

19.0.1 本试验方法适用于粘土和泥化夹层。

19.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 应变控制式反复直剪仪(图19.0.2)，由剪切盒、垂直加压设备、剪切传动装置、测力计、位移量测系统、剪切变速设备、剪切反推装置和可逆电动机组成。

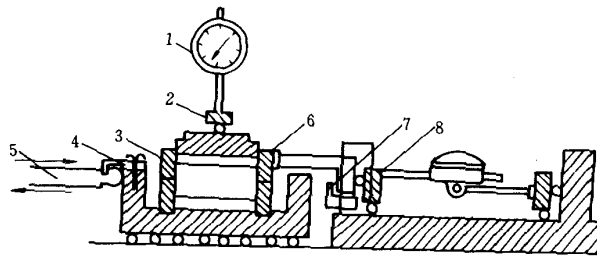


图 19.0.2 反复直剪仪示意图

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 其他：应与本标准第18.1.2条2、3款的规定相同。

19.0.3 反复直剪强度试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备：

1)对于有软弱面的原状土，先整平土样两端，使土的顶面、底面平行土体软弱面，用环刀切取试样，当切到软弱面后向下切10mm，使软弱面位于试样高度的中部，密度较低的试样，下半部应略大于10mm。

2)对于无软弱面的原状土样，应按本标准第3.1.4条的步骤进行。

3)对于泥化夹层或滑坡层面，无法取得原状土样时，可刮取夹层或层面上的土样，制备成10mm液限状态的土膏，分层填入环刀内，边填边排气，同一组试样填入密度的允许差值为 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，并取软弱面上的土样测定含水率。

4)当试样需要饱和时，应按本标准第3.2.4条的步骤进行。

2 试样安装、固结排水应按本标准第18.1.3条2~5款的步骤进行。

3 拔去固定销，启动电动机正向开关，以 $0.02\text{mm}/\text{min}$ (粉土采用 $0.06\text{mm}/\text{min}$)的剪切速度进行剪切，试样每产生剪切位移 $0.2\sim 0.4\text{mm}$ 测记测力计和位移读数，当剪应力超过峰值后，按剪切位移 0.5mm 测读一次，直至最大位移达 $8\sim 10\text{mm}$ 停止剪切。

4 第一次剪切完成后，启动反向开关，将剪切盒退回原位，插入固定销，反推速率应小于 $0.6\text{mm}/\text{min}$ 。

5 等待半小时后，重复本条3、4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。对粉质粘土，需剪切 $5\sim 6$ 次，总剪切位移量达 $40\sim 50\text{mm}$ ；对粘质土需剪切 $3\sim 4$ 次，总剪切位移量达 $30\sim 40\text{mm}$ 。

6 剪切结束，吸去盒中积水，卸除压力，取出试样，描述剪切面破坏情况，取剪

切面上的试样测定剪后含水率。

19.0.4 剪应力应按本标准式(18.1.4)计算。

19.0.5 以剪应力为纵坐标,剪切位移为横坐标,绘制剪应力与剪切位移关系曲线(图19.0.5)。图上第一次的剪应力峰值为慢剪强度,最后剪应力的稳定值为残余强度。

19.0.6 残余强度与垂直压力的关系曲线的绘制及残余内摩擦角 ϕ_r 和残余粘聚力 c_r 的确定,应按本标准18.1.6的规定进行(图19.0.6)。

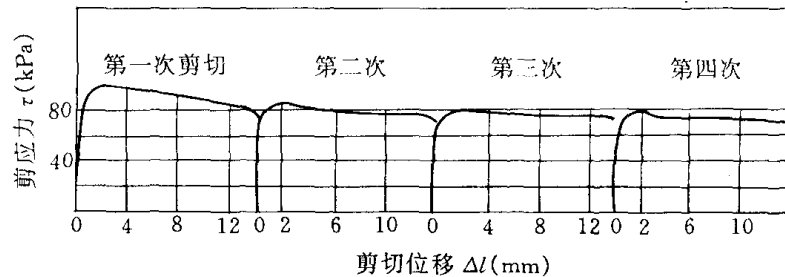


图 19.0.5 剪应力与剪切位移关系曲线

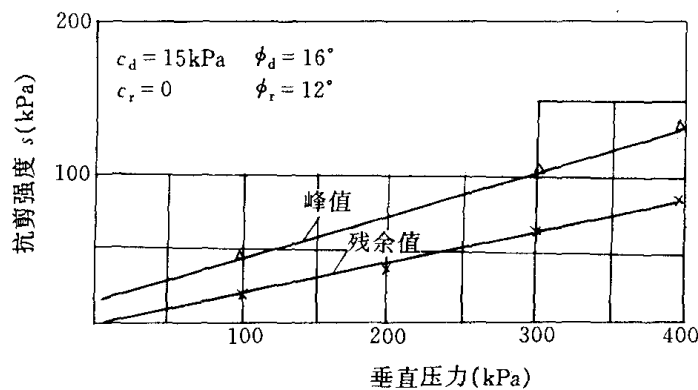


图 19.0.6 抗剪强度与垂直压力关系曲线

19.0.7 反复直剪强度试验的记录格式见附录D表D—33。

20 自由膨胀率试验

20.0.1 本试验方法适用于粘土。

20.0.2 本试验所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

- 1 量筒:容积为50ml,最小刻度为1ml,容积与刻度需经过校正。
- 2 量土杯:容积为10mL,内径为20mm。
- 3 无颈漏斗:上口直径50~60mm,下口直径4~5mm。
- 4 搅拌器:由直杆和带孔圆盘构成(图20.0.2)。
- 5 天平:称量200g、最小分度值0.01g。

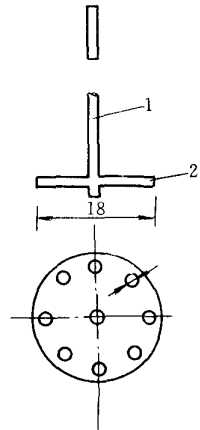


图 20.0.2 搅拌器示意图

1—直杆；2—圆盘

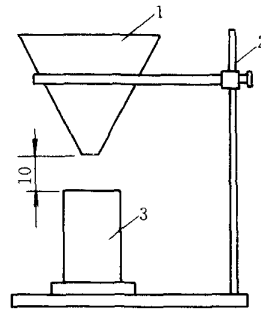


图 20.0.3 量样装置

1—漏斗；2—支架；3—量土杯

20.0.3 自由膨胀率试验，应按下列步骤进行：

1 用四分对角法取代表性风干土，碾细并过0.5mm筛。将筛下土样拌匀，在105～110 温度下烘干，置于干燥器内冷却至室温。

2 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，见图20.0.3。

3 用取土匙取适量试样倒入漏斗中，倒土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，当量杯装满土样并溢出时，停止向漏斗倒土，移开漏斗刮去杯口多余土，称量土杯中试样质量，将量土杯中试样倒入匙中，再次将量土杯按图20.0.3所示置于漏斗下方，将匙中土样按上述方法全部倒回漏斗并落入量土杯，刮去多余土，称量土杯中试样质量。本步骤应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于0.1g。

4 在量筒内注入30mL纯水，加入5mL浓度为5%的分析纯氯化钠(NaCl)溶液，将试样倒入量筒内，用搅拌器上下搅拌悬液各10次，用纯水冲洗搅拌器和量筒壁至悬液达50mL。

5 待悬液澄清后，每2h测读1次土面读数(估读至0.1mL)。直至两次读数差值不超过0.2mL，膨胀稳定。

20.0.4 自由膨胀率应按下式计算，准确至1.0%

$$e_f = \frac{V_{we} - V_0}{V_0} \times 100 \quad (20.0.4)$$

式中 e_f ——自由膨胀率(%)；

V_{we} ——试样在水中膨胀后的体积(mL)；

V_0 ——试样初始体积，10mL。

20.0.5 本试验应进行两次平行测定。当 e_{set} 小于60%时，平行差值不得大于5%；当 e_f 大于、等于60%时，平行差值不得大于8%。取两次测值的平均值。

20.0.6 自由膨胀率试验的记录格式见附录D表D—34。

21 膨胀率试验

21.1 有荷载膨胀率试验

21.1.1 本试验方法适用于测定原状土或扰动粘土在特定荷载和有侧限条件下的膨胀率。

21.1.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 固结仪(见本标准图14.1.2)：应附加荷设备，试验前必须率定不同压力下的仪

器变形量。

注：加压上盖应为轻质材料并带护环。

2 环刀：直径为61.8mm或79.8mm，高度为20mm。

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

21.1.3 有荷载膨胀率试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本标准第3.1.4条或第3.1.6条的步骤进行。

2 试样安装应按本标准第14.1.5条1、2款的步骤进行，并在试样和透水板之间加薄型滤纸。

3 分级或一次连续施加所要求的荷载(一般指上覆土质量或上覆土加建筑物附加荷载)，直至变形稳定，测记位移计读数，变形稳定标准为每小时变形不超过0.01mm，再自下而上向容器内注入纯水，并保持水面高出试样5mm。

4 浸水后每隔2h测记读数一次，直至两次读数差值不超过0.01mm时膨胀稳定，测记位移计读数。

5 试验结束，吸去容器中的水，卸除荷载，取出试样，称试样质量，并测定其含水率。

21.1.4 特定荷载下的膨胀率，应按下式计算：

$$e_p = \frac{z_p - z_0}{h_0} \times 100 \quad (21.1.4)$$

式中 e_p ——某荷载下的膨胀率(%)

z_p ——某荷载下膨胀稳定后的位移计读数(mm)；

z_0 ——加荷前位移计读数(mm)；

——某荷载下的仪器压缩变形量(mm)；

h_0 ——试样的初始高度(mm)。

21.1.5 有荷载膨胀率试验的记录格式见附录D表D—35。

21.2 无荷载膨胀率试验

21.2.1 本试验方法适用于测定原状土或扰动粘土在无荷载有侧限条件下的膨胀率。

21.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应与本标准第14.1.2条相同，应有套环。

21.2.3 无荷载膨胀率试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本标准第3.1.4条或第3.1.6条的步骤进行。

2 试样安装应按本标准第14.1.5条1、2款的步骤进行。

3 自下而上向容器内注入纯水，并保持水面高出试样5mm，注水后每隔2h测记位移计读数一次，直至两次读数差值不超过0.01mm时，膨胀稳定。

4 试验结束后，吸去容器中的水，取出试样，称试样质量，测定其含水率和密度，并计算孔隙比。

21.2.4 任一时间的膨胀率，应按下式计算：

$$e = \frac{z_1 - z_0}{h_0} \times 100 \quad (21.2.4)$$

式中 e ——时间为 t 时的无荷载膨胀率(%)；

z_1 ——时间为 t 时的位移计读数(mm)。

21.2.5 无荷载膨胀率试验，宜绘制膨胀率与时间关系曲线。

21.2.6 无荷载膨胀率试验的记录格式见附录D表D—35。

22 膨胀力试验

22.0.1 本试验方法适用于原状土和击实粘土，采用加荷平衡法。

22.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应与本标准第21.1.2条相同。

22.0.3 膨胀力试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本标准第3.1.4条或第3.1.6条的步骤进行。

2 试样安装应按本标准第14.1.5条1、2款的步骤进行，并自下而上向容器注入纯水，并保持水面高出试样顶面。

3 百分表开始顺时针转动时，表明试样开始膨胀，立即施加适当的平衡荷载，使百分表指针回到原位。

4 当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，百分表指针应逆时针转动一个等于仪器变形量的数值。

5 当试样在某级荷载下间隔2h不再膨胀时，则试样在该级荷载下达到稳定，允许膨胀量不应大于0.01mm，记录施加的平衡荷载。

6 试验结束后，吸去容器内水，卸除荷载，取出试样，称试样质量，并测定含水率。

20.0.4 膨胀力应按下列式计算：

$$P_e = \frac{W}{A} \times 10 \quad (22.0.4)$$

式中 P_e ——膨胀力(kPa)，

W ——施加在试样上的总平衡荷载(N)；

A ——试样面积(cm^2)。

22.0.5 膨胀力试验的记录格式见附录D表D—36。

23 收缩试验

23.0.1 本试验方法适用于原状土和击实粘土。

23.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 收缩仪(图23.0.2)：多孔板上孔的面积应占整个板面积的50%以上。

2 环刀：直径61.8mm，高度20mm。

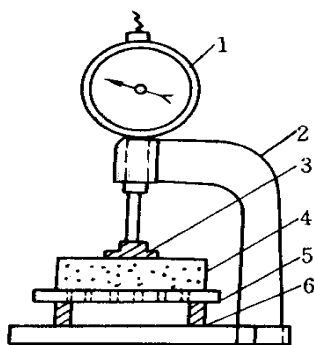


图 23.0.2 收缩仪

1—量表；2—支架；3—测板；

4—试样；5—多孔板；6—垫块

23.0.3 收缩试验应按下列步骤进行：

1 试样制备，应按本标准第3.1.4条或第3.1.6条的步骤进行。将试样推出环刀(当

试样不紧密时,应采用风干脱环法)置于多孔板上,称试样和多孔板的质量,准确至0.1g。装好百分表,记下初始读数。

2 在室温不得高于30 条件下进行收缩试验,根据试样含水率及收缩速度,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,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。在收缩曲线的I阶段内,应取得不少于4个数据。

3 试验结束,取出试样,并在105~110 下烘干。称干土质量,准确至0.1g。

4 按本标准密度试验中第5.2节的蜡封法测定烘干试样体积。

23.0.4 试样在不同时间的含水率,应按下式计算:

$$w_i = \left(\frac{m_i}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (23.0.4)$$

式中 w_i —— 某时刻试样的含水率(%);

m_i —— 某时刻试样的质量(g);

m_d —— 试样烘干后的质量(g)。

23.0.5 线缩率应按下式计算:

$$s_i = \frac{z_t - z_0}{h_0} \times 100 \quad (23.0.5)$$

式中 s_i —— 试样在某时刻的线缩率(%);

z_t —— 某时刻的百分表读数(mm)。

23.0.6 体缩率应按下式计算:

$$v = \frac{V_0 - V_d}{V_0} \times 100 \quad (23.0.6)$$

式中 v —— 体缩率(%),

V_d —— 烘干后试样的体积(cm^3)。

23.0.7 土的缩限应按下列作图法确定:

以线缩率为纵坐标,含水率为横坐标,绘制关系曲线(图23.0.7)延长第 III、II 阶段的直线段至相交,交点E所对应的横坐标 w_s 即为原状土的缩限。

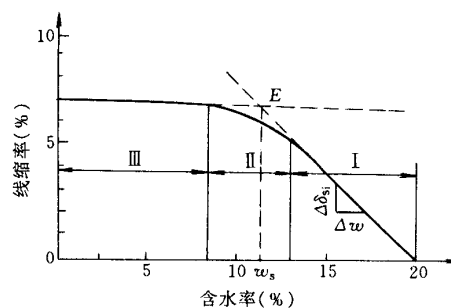


图 23.0.7 线缩率与含水率关系曲线

注:土的缩限也可按本标准式(8.4.5)计算。

23.0.8 收缩系数应按下式计算:

$$n = \frac{\Delta s_i}{\Delta w} \quad (23.0.8)$$

式中 n —— 竖向收缩系数;

Δw —— 收缩曲线上第1阶段两点的含水率之差(%);

Δ_{si} ——与 Δ_w 相对应的两点线缩率之差(%)。

23.0.9 收缩试验的记录格式见附录D表D—37。

24 冻土密度试验

24.1 一般规定

24.1.1 本试验方法适用于原状冻土和人工冻土。

24.1.2 密度试验应根据冻土的特点和试验条件选用浮称法、联合测定法、环刀法或充砂法。

24.1.3 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，试验过程中冻土表面不得发生融化。

24.2 浮称法

24.2.1 本试验方法适用于各类冻土。

24.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 天平：称量1000g，最小分度值0.1g；
- 2 液体密度计：分度值为0.001g/cm³；
- 3 温度表：测量范围为-30~+20，分度值为0.1；
- 4 量筒：容积为1000mL；
- 5 盛液筒：容积为1000~2000mL。

24.2.3 试验所用的溶液采用煤油或纯水。采用煤油时，应首先用密度计法测定煤油在不同温度下的密度，并绘出密度与温度关系曲线。采用0℃纯水和试样温度较低时，应快速测定，试样表面不得发生融化。

24.2.4 浮称法试验，应按下列步骤进行：

- 1 调整天平，将空的盛液筒置于称重一端。
- 2 切取质量为300~1000g的冻土试样，用细线捆紧，放入盛液筒中称盛液筒和冻土试样质量(m_1)，准确至0.1g。
- 3 将事先预冷至接近冻土试样温度的煤油缓慢注入盛液筒，液面宜超过试样顶面2cm，并用温度表测量煤油温度，准确至0.1℃。
- 4 称取试样在煤油中的质量(m_2)，准确至0.1g。
- 5 从煤油中取出冻土试样，削去表层带煤油的部分，然后按本标准第4.0.3条的规定取样测定冻土的含水率。

24.2.5 冻土密度应按下列公式计算：

$$f = \frac{m_1}{V} \quad (24.2.5-1)$$

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{ct}} \quad (24.2.5-2)$$

式中 f ——冻土密度(g/cm³)；

V ——冻土试样体积(cm³)；

m_1 ——冻土试样质量(g)；

m_2 ——冻土试样在煤油中的质量(g)；

ρ_{ct} ——试验温度下煤油的密度(g/cm³)，可由煤油密度与温度关系曲线查得。

24.2.6 冻土的干密度应按下列公式计算：

$$f_d = \frac{f}{1 + 0.01w} \quad (24.2.6)$$

式中 f_d ——冻土干密度(g/cm^3)；
 w ——冻土含水率(%)。

24.2.7 本试验应进行不少于两组平行试验。对于整体状构造的冻土，两次测定的差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，取两次测值的平均值；对于层状和网状构造的其他富冰冻土，宜提出两次测定值。

24.2.8 本试验记录格式见附录D表D—38。

24.3 联合测定法

24.3.1 本试验方法适用于砂土和层状、网状构造的粘质冻土。在无烘干设备的现场或需要快速测定密度和含水率时，可采用本方法。

24.3.2 本试验所用的仪器设备，应符合下列规定：

- 1 排液筒(图24.3.2)；
- 2 台秤：称量5kg，最小分度值1g；
- 3 量筒：容积为1000mL，分度值10mL。

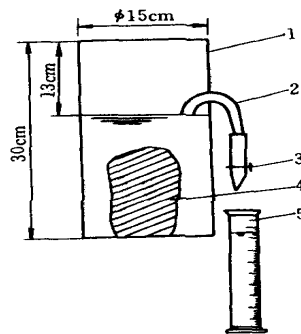


图 24.3.2 排液筒示意图
 1—排液筒；2—虹吸管；3—止水夹；4—冻土试样；5—量筒

24.3.3 联合测定法试验，应按下列步骤进行：

- 1 将排液筒置于台秤上，拧紧虹吸管止水夹，排液筒在台秤上的位置在试验过程中不得移动。将接近0 的纯水缓慢倒入排液筒，使水面超过虹吸管顶。
- 2 松开虹吸管的止水夹，使排液筒中的水面徐徐下降，待水面稳定和虹吸管不再出水时，拧紧止水夹，称筒和水的质量(m_1)。
- 3 取1000~1500g的冻土试样，并称质量(m)。
- 4 将冻土试样轻轻放入排液筒中。随即松开止水夹，使筒中的水流入量筒中。水流停止后，拧紧止水夹，立即称筒、水和试样总质量(m_2)。同时测读量筒中水的体积，用以校核冻土试样的体积。
- 5 使冻土试样在筒中充分融化成松散状态，澄清。补加纯水使水面超过虹吸管顶。
- 6 松开止水夹，排水。当水流停止后，拧紧止水夹，并称筒、水和试样总质量(m_3)。
- 7 在试验过程中应保持水面平稳，在排水和放入冻土试样时排液筒不得发生上下剧烈晃动。

24.3.4 冻土的含水率和密度应按下列各式计算。

$$w = \left[\frac{m(G_s - 1)}{(m_3 - m_1)G_s} - 1 \right] \times 100 \quad (24.3.4-1)$$

$$V = \frac{m + m_1 - m_2}{w} \quad (24.3.4-2)$$

$$f = \frac{m}{V} \quad (24.3.4-3)$$

$$fd = \frac{f}{1 + 0.01w} \quad (24.3.4-4)$$

- 式中 w ——冻土的含水率(%) ;
 V ——冻土试样体积(cm^3) ;
 m ——冻土试样质量(g) ;
 m_1 ——冻土试样放入排液筒前的筒、水总质量(g) ;
 m_2 ——放入冻土试样后的筒、水、试样总质量(g) ;
 m_3 ——冻土融解后的筒、水、土颗粒总质量(g) ;
 w ——水的密度(g/cm^3) ;
 G_s ——土颗粒比重。

含水率计算至0.1% , 密度计算至0.01 g/cm^3 。

24.3.5 本试验应进行二次平行测定试验 , 取两次测值的算术平均值 , 并标明两次测值。

24.3.6 联合测定法试验记录格式见附录D表D—39。

24.4 环刀法

24.4.1 本试验方法适用于温度高于-3 的粘质和砂质冻土。

24.4.2 本试验所用的主要仪器设备 , 应符合下列规定 :

- 1 环刀 : 容积应大于或等于500 cm^3 ;
- 2 天平 : 称量3000g , 最小分度值0.2g ;
- 3 其他 : 切土器、钢丝锯等。

24.4.3 环刀法试验应按本标准第3.1.4条2款的步骤进行。

24.4.4 本试验应进行两次平行测定。两次测定的平行差值应符合本标准第24.2.7条的规定。

24.4.5 环刀法密度试验记录格式见附录D表D—2。

24.5 充砂法

24.5.1 本试验适用于试样表面有明显孔隙的冻土。

24.5.2 本试验所用的仪器设备 , 应符合下列规定。

- 1 测筒 : 内径宜用15cm , 高度宜用13cm。
- 2 漏斗 : 上口直径可为15cm , 下口直径可为5cm , 高度可为10cm。
- 3 天平 : 称量5000g , 最小分度值1g。

24.5.3 测筒的容积 , 应按下列步骤测定。

- 1 测筒注满水 , 水面必须与测筒上口齐平。称筒、水的总质量(m_2)。
- 2 测量水温 , 并查取相应水温下水的密度。
- 3 测筒的容积应按下式计算 :

$$V_0 = (m_2 - m_1) / w_t \quad (24.5.3)$$

- 式中 V_0 ——测筒的容积(cm^3) ;
 m_2 ——筒、水总质量(g) ;
 m_1 ——测筒质量(g) ;
 w_t ——不同温度下水的密度(g/cm^3)。

4 测筒的容积应进行3次平行测定 , 并取3次测定值的算术平均值。各次测定结果之差不应大于3mL。

24.5.4 测筒充砂密度，应按下列步骤进行测定。

1 准备不少于5000g清洗干净的干燥标准砂。标准砂的温度应接近冻土试样的温度。

2 将测筒放平。用漏斗架将漏斗置于测筒上方。漏斗下口与测筒上口应保持5—10cm的距离。用薄板挡住漏斗下口，并将标准砂充满漏斗后移开挡板，使砂充入测筒。与此同时，不断向漏斗中补充标准砂，使砂面始终保持与漏斗上口齐平。在充砂过程中不得敲击或振动漏斗和测筒。

3 当测筒充满标准砂后，移开漏斗，轻轻刮平砂面，使之与测筒上口齐平。在刮砂过程中不应压砂。称测筒、砂的总质量。

4 充砂的密度应按下式计算：

$$s = \frac{m_s - m_1}{V_0} \quad (24.5.4)$$

式中 s ——充砂密度(g/cm³)；

m_s ——测筒、砂的总质量(g)。

5 充砂密度应重复测定3~4次，并取其测值的算术平均值。各次测值之差应小于0.02 g/cm³。

24.5.5 充砂法试验应按下列步骤进行：

1 切取冻土试样。试样宜取直径为8~10cm的圆形或L×B(cm):(8~10)×(8~10)的方形。试样底面必须削平，称试样质量。

2 将试样平面朝下放入筒内。试样底面与测筒底面必须接触紧密。用标准砂充填冻土试样与筒壁之间的空隙和试样顶面。充砂和刮平砂面应按第24.5.4条2、3款的步骤进行。

3 称测筒、试样和充砂的总质量。

4 冻土密度应按下式计算，计算至0.01 g/cm³

$$f = \frac{m}{V} \quad (24.5.5-1)$$

$$V = V_0 - \frac{m_4 - m_1 - m}{s} \quad (24.5.5-2)$$

式中 V ——冻土试样的体积(cm³)；

m_4 ——测筒、试样和量砂的总质量(g)。

5 本试验应重复进行两次，并取两次测值的算术平均值。两次测值的差值应不大于0.03g/cm³。

24.5.6 充砂法密度试验记录格式见附录D表D—40。

25 冻结温度试验

25.0.1 本试验方法适用于原状和扰动的粘土和砂土。

25.0.2 本试验所用主要仪器设备，应符合下列规定：

1 冻结温度试验宜用图25.0.2所示的试验装置。该装置由零温瓶、数字电压表、热电偶、塑料管和试样杯等组成。

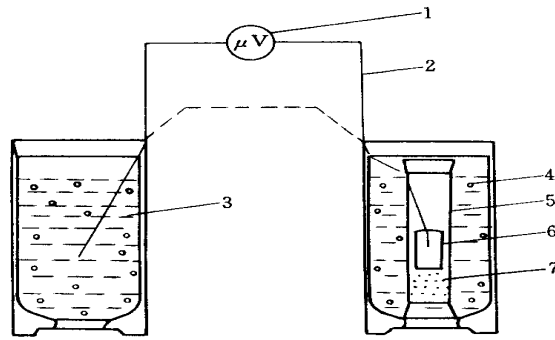


图 25.0.2 冻结温度试验装置示意图

1—数字电压表；2—热电偶；3—零温瓶；4—低温瓶；
5—塑料管；6—试样杯；7—干砂

- 2 零温瓶容积为3.57L，内盛冰水混合物(其温度应为 0 ± 0.1)。
- 3 低温瓶容积为3.57L，内盛低熔冰晶混合物，其温度宜为 -7.6 。
- 4 数字电压表，其量程可取2mV，分度值应为 $1 \mu V$ 。
- 5 铜和康铜热电偶，其线径宜用0.2mm。

6 塑料管可用内径5cm、壁厚5mm，长25cm的硬质聚氯乙烯管。管底应密封，管内装5cm高干砂。

- 7 试样杯应用黄铜制成，其直径3.5cm、高5cm，带有杯盖。

25.0.3 原状土试验，应按下列步骤进行：

- 1 土样应按自然沉积方向放置，剥去蜡封和胶带，开启土样筒取出土样。

2 试样杯内壁涂一薄层凡士林，杯口向下放在土样上，将试样杯垂直下压，并用切土刀沿杯外壁切削土样，边压边削至土样高出试样杯，用钢丝锯整平杯口，擦净外壁，盖上杯盖，并取余土测定含水率。

- 3 将热电偶的测温端插入试样中心，杯盖周侧用硝基漆密封。

4 零温瓶内装入用纯水制成的冰块，冰块直径应小于2cm，再倒入纯水，使水面与冰块面相平，然后插入热电偶零温端。

5 低温瓶内装入用2mol/L氯化钠溶液制成的盐冰块，其直径应小于2cm，再倒入相同浓度的氯化钠溶液制成的盐冰块，使之与冰块面相平。

6 将封好底且内装5cm高干砂的塑料管插入低温瓶内，再把试样杯放入塑料管内。然后，塑料管口和低温瓶口分别用橡皮塞和瓶盖密封。

7 将热电偶测温端与数字电压表相连，每分钟测量一次热电势，当势值突然减小并3次测值稳定，试验结束。

25.0.4 扰动冻土试验，应按下列步骤进行：

1 称取风干土样200g，平铺于搪瓷盘内，按所需的加水量将纯水均匀喷洒在土样上，充分拌匀后装入盛土器内盖紧，润湿一昼夜(砂土的润湿时间可酌减)。

2 将配制好的土装入试样杯中，以装实装满为度。杯口加盖。将热电偶测温端插入试样中心。杯盖周侧用硝基漆密封。

- 4 按本标准第25.0.3条4~7款的步骤进行试验。

25.0.5 冻结温度应按下列式计算：

$$T = V/K \quad (25.0.5)$$

式中 T ——冻结温度()；

V ——热电势跳跃后的稳定值(μV)；

K ——热电偶的标定系数(/ μV)。

25.0.6 冻结温度试验的记录格式见附录D表D—41。

26 未冻含水率试验

26.0.1 本试验方法适用于扰动粘土和砂土。

26.0.2 本试验所用仪器设备应符合本标准第25.0.2条的规定。

26.0.3 未冻含水率试验应按本标准第25.0.4条1款的步骤制备3个试样，其中1个试样按所需的加水量制备，另2个试样应分别采用试样的液限和塑限作为初始含水率，并分别测定在该两个界限含水率时的冻结温度。

注：液限为10mm液限。

26.0.4 将制备好的试样，按本标准第25.0.4条2、3款的步骤进行试验。

26.0.5 未冻含水率应按下列式计算：

$$w_n = AT_f^{-B} \quad (26.0.5-1)$$

$$A = w_L T_L^B \quad (26.0.5-2)$$

$$B = \frac{\ln w_L - \ln w_P}{\ln T_p - \ln T_L} \quad (26.0.5-3)$$

式中 w_n ——未冻含水率(%)；

w_P ——塑限(%)；

w_L ——液限(%)；

A B ——与土的性质有关的常数；见式(26.0.5—2)和式(26.0.5—3)。

T_f ——温度绝对值()；

T_p ——塑限时冻结温度绝对值()；

T_L ——液限时冻结温度绝对值()。

26.0.6 未冻含水率试验的记录格式见附录D表D—42。

27 冻土导热系数试验

27.0.1 本试验适用于扰动粘土和砂土。

27.0.2 本试验所用的仪器设备，应符合下列规定：

1 导热系数试验装置，由恒温系统、测温系统和试样盒组成(图27.0.2)。

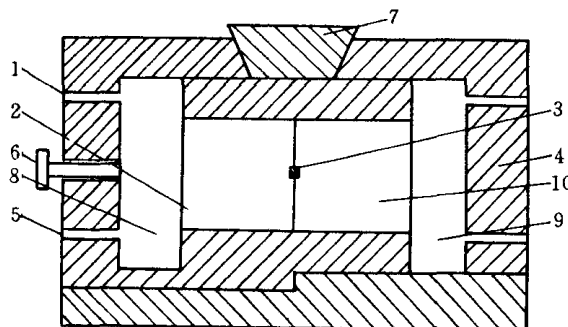


图 27.0.2 导热系数试验装置示意图

1—冷浴循环液出口；2—试样盒；3—热电偶测温端；

4—保温材料；5—冷浴循环液进口；6—夹紧螺杆；7—保温盖；

8—10°C恒温箱；9—25°C恒温箱；10—石蜡盒

2 恒温系统由两个尺寸为 $L \times B \times H$ (cm) : $50 \times 20 \times 50$ 的恒温箱和两台低温循环冷浴组成。恒温箱与试样盒接触面应采用5mm厚的平整铜板。两个恒温箱分别提供两个不

同的负温环境(-10 和-25)。恒温精度应为 ± 0.1 。

3 测温系统由热电偶、零温瓶和量程为2mV、分度值 $1\mu V$ 的数字电压表组成。有条件时,后者可用数据采集仪,并与计算机连接。

4 试样盒两只,其外形尺寸均为 $L\times B\times H$ (cm): $25\times 25\times 25$,盒面两侧为厚0.5cm的平整铜板,试样盒的两侧,底面和上端盒盖应采用尺寸为 $25\text{cm}\times 25\text{cm}$,厚0.3cm的胶木板。

27.0.3 导热系数试验,应按下列步骤进行:

1 将风干试样平铺在搪瓷盘内,按所需的含水率和土样制备要求制备土样。

2 将制配好的土样按要求的密度装入一个试样盒,盖上盒盖。装土时,将两支热电偶的测温端安装在试样两侧铜板内壁的中心位置。

3 另一个试样盒装入石蜡,作为标准试样。装石蜡时,按本条2款的要求安装两支热电偶。

4 将分别装好石蜡和试样的两个试样盒按本标准图27.0.2的方式安装好,驱动夹紧螺杆使试样盒和恒温箱的各铜板面接触紧密。

5 接通测温系统。

6 开动两个低温循环冷浴,分别设定冷浴循环液温度为-10 和-25 。

7 冷浴循环液达到要求温度再运行8h后,开始测温。每隔10min分别测定一次标准试样和冻土试样两侧壁面的温度,并记录。当各点的温度连续3次测得的差值小于0.1 时,试验结束。

8 取出冻土试样,测定其含水率和密度。

27.0.4 导热系数应按下列式计算:

$$\lambda = \frac{\lambda_0 \Delta_0}{\Delta} \quad (27.0.4)$$

式中 λ ——冻土的导热系数 $[W/(m\cdot K)]$;

λ_0 ——石蜡的导热系数 $[0.279W/(m\cdot K)]$;

Δ_0 ——石蜡样品盒中两壁面温差();

Δ ——待测试样中两壁面温差()。

27.0.5 导热系数试验的记录格式见附录D表D—43。

28 冻胀量试验

28.0.1 本试验方法适用于原状、扰动粘土和砂土。

28.0.2 本试验所用主要仪器设备,应符合下列规定。

1 冻胀量试验装置,由试样盒、恒温箱、温度控制系统、温度监测系统、补水系统、变形监测系统和加压系统组成。

2 试样盒外径为12cm、壁厚为1cm的有机玻璃筒和与之配套的顶、底板组成(图28.0.2)。

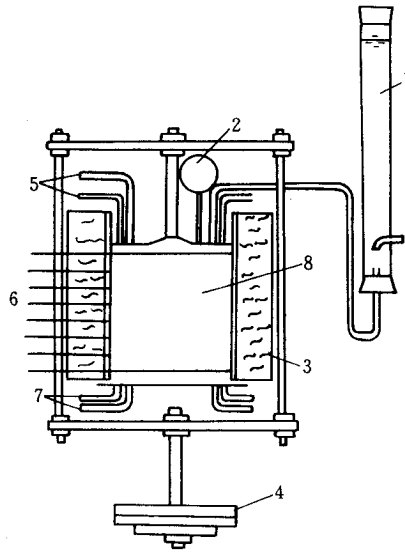


图 28.0.2 试样盒结构示意图

1—供水装置；2—位移计；3—保温材料；4—加压装置；5—正温循环液进出口；
6—热敏电阻测温点；7—负温循环液进出口；8—试样盒

有机玻璃筒周侧每隔1cm设热敏电阻温度计插入孔。顶底板的结构能提供恒温液循环和外界水源补给通道，并使板面温度均匀。

3 恒温箱的容积不小于 0.8m^3 ，内设冷液循环管路和加热器(功率为500W)，通过热敏电阻温度计与温度控制仪相连，使试验期间箱温保持在 1 ± 0.5 。

4 温度控制系统由低温循环浴和温度控制仪组成，提供试验所需的顶、底板温度。

5 温度监测系统由热敏电阻温度计、数据采集仪和电子计算机组成，监测试验过程中土样、顶、底板温度和箱温变化。

6 补水系统由恒定水位的供水装置(见图28.0.2)通过塑料管与顶板相连，水位应高出顶板与土样接触面1cm，试验过程中定时记录水位以确定补水量。

7 变形监测系统可用百分表或位移传感器(量程30mm最小分度值0.01mm)，有条件时可采用数据采集仪和计算机组成，监测试验过程中土样变形量。

8 加压系统由液压油源及加压装置(或加压框架和砝码)组成。(加压系统仅在需要模拟原状土天然受压状况时使用，加载等级根据天然受压状况确定)。

28.0.3 原状土试验，应按下列步骤进行：

1 土样应按自然沉积方向放置，剥去蜡封和胶带，开启土样筒取出土样。

2 用土样切削器将原状土样削成直径为10cm、高为5cm的试样，称量确定密度并取余土测定初始含水率。

3 有机玻璃试样盒内壁涂上一薄层凡士林，放在底板上，盒内放一张薄型滤纸，然后将试样装入盒内，让其自由滑落在底板上。

4 在试样顶面再加上一张薄型滤纸，然后放上顶板，并稍稍加力，以使试样与顶、底板接触紧密。

5 将盛有试样的试样盒放入恒温箱内，试样周侧、顶、底板内插入热敏电阻温度计、试样周侧包裹5cm厚的泡沫塑料保温。连接顶、底板冷液循环管路及底板补水管路，供水并排除底板内气泡，调节水位。安装位移传感器。

6 开启恒温箱、试样盒、顶、底板冷浴，设定恒温箱冷浴温度为 -15 ，箱内气温为 1 ，顶、底板冷浴温度为 1 。

7 试样恒温6h，并监测温度和变形。待试样初始温度均匀达到 1 以后，开始试验。

8 底板温度调节到-15 并持续0.5h，让试样迅速从底面冻结，然后将底板温度调节到-2 。使粘土以0.3 /h，砂土以0.2 /h的速度下降。保持箱温和顶板温度均为1，记录初始水位。每隔1h记录水位、温度和变形量各一次。试验持续72h。

9 试验结束后，迅速从试样盒中取出土样，测量试样高度并测定冻结深度。

28.0.4 扰动土试验，应按下列步骤进行：

1 称取风干土样500g，加纯水拌匀呈稀泥浆，装入内径为10cm的有机玻璃筒内，加压固结，直至达到所需初始含水率后，将土样从有机玻璃筒中推出，并将土样高度修正到5cm。

2 继续按第28.0.3条3~9款的步骤进行试验。

28.0.5 冻胀率应按下列式计算：

$$= \frac{\Delta h}{H_f} \times 100 \quad (28.0.5)$$

式中 ——冻胀率(%)；

Δh ——试验期间总冻胀量(mm)；

H_f ——冻结深度(不包括冻胀量)(mm)。

28.0.6 冻胀量试验的记录格式见附录D表D—44。

29 冻土融化压缩试验

29.1 一般规定

29.1.1 本试验的目的是测定冻土融化过程中的相对下沉量(融沉系数)和融沉后的变形与压力关系(融化压缩系数)。

29.1.2 本试验分为室内融化压缩试验和现场原位冻土融化压缩试验两种。

29.2 室内冻土融化压缩试验

29.2.1 本试验适用于冻结粘土和粒径小于2mm的冻结砂土。

29.2.2 试验宜在负温环境下进行。严禁在切样和装样过程中使试样表面发生融化。试验过程中试样应满足自上而下单向融化。

29.2.3 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 融化压缩仪(图29.2.3)：加热传压板应采用导热性能好的金属材料制成；试样环应采用有机玻璃或其他导热性低的非金属材料制成。其尺寸宜为：内径79.8mm，高40.0mm；保温外套可用聚苯乙烯或聚胺酯泡沫塑料。

2 原状冻土钻样器：钻样器宜由钻架和钻具两部分组成。钻具开口内径为79.8mm。钻样时将试样环套入钻具内，环外壁与钻具内壁应吻合平滑。

3 恒温供水设备。

4 加荷和变形测量设备应符合本标准第14.1.2条2、3款的规定。

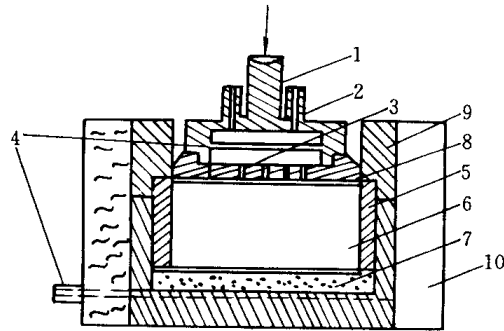


图 29.2.3 融化压缩仪示意图

1—加热传压板；2—热循环水进出口；3—透水板；4—上下排水孔；
5—试样环；6—试样；7—透水板；8—滤纸；9—导环；10—保温外套

29.2.4 融化压缩仪和加荷设备应定期校准，并作出仪器变形量校正曲线或数值表。

29.2.5 融化压缩试验，应按下列步骤进行：

1 钻取冻土试样，其高度应大于试样环高度。从钻样剩余的冻土中取样测定含水率。钻样时必须保持试样的层面与原状土一致，且不得上下倒置。

2 冻土试样必须与试样环内壁紧密接触。刮平上下面，但不得造成试样表面发生融化。测定冻土试样的密度。

3 在融化压缩容器内先放透水板，其上放一张润湿滤纸。将装有试样的试样环放在滤纸上，套上护环。在试样上铺滤纸和透水板，再放上加热传压板。然后装上保温外套。将融化压缩容器置于加压框架正中。安装百分表或位移传感器。

4 施加1kPa的压力。调平加压杠杆。调整百分表或位移传感器到零位。

5 用胶管连接加热传压板的热热水循环水进出口与事先装有温度为40~50℃水的恒温水槽，并打开开关和开动恒温器，以保持水温。

6 试样开始融沉时即开动秒表，分别记录1、2、5、10、30、60min时的变形量。以后每2h观测记录一次，直至变形量在2h内小于0.05mm时为止，并测记最后一次变形量。

7 融沉稳定后，停止热水循环，并开始加荷进行压缩试验。加荷等级视实际工程需要确定，宜取50、100、200、400、800kPa，最后一级荷载应比土层的计算压力大100~200kPa。

8 施加每级荷载后24h为稳定标准，并测记相应的压缩量。直至施加最后一级荷载压缩稳定为止。

9 试验结束后，迅速拆除仪器各部件，取出试样，测定含水。

29.2.6 融沉系数应按下列式计算：

$$s_0 = \frac{\Delta h_0}{h_0} \quad (29.2.6)$$

式中 s_0 ——冻土融沉系数；

Δh_0 ——冻土融化下沉量(mm)；

h_0 ——冻土试样初始高度(mm)。

29.2.7 某一压力下稳定后的单位变形量应按下列式计算：

$$S_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} \quad (29.2.7)$$

式中 S_i ——某一压力下的单位变形量(mm)；

ΔH_i ——某一压力下的变形量(mm)。

29.2.8 某一压力范围内的冻土融化压缩系数应按下列公式计算：

$$t_c = \frac{S_{i+1} - S_i}{p_{i+1} - p_i} \quad (29.2.8)$$

式中 t_c ——融化压缩系数(MPa⁻¹)；
 p_i ——某级压力值(MPa)。

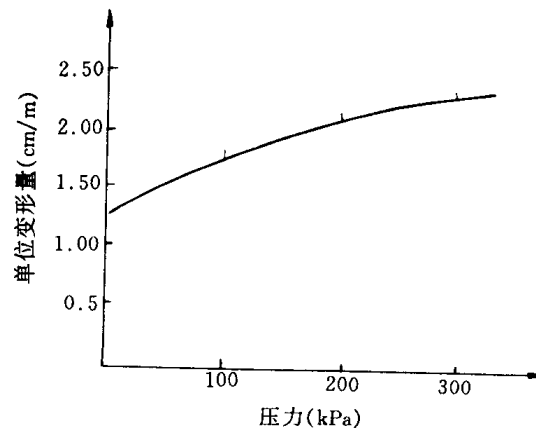


图 29.2.9 S_i - P 关系曲线

29.2.9 绘出单位变形量与压力关系曲线，如图29.2.9所示。

29.2.10 室内融化压缩试验记录格式见附录D表D—23。

29.3 现场冻土融化压缩试验

29.3.1 本试验适用于除漂石以外的各类冻土。

29.3.2 本试验应在现场试坑内进行。试坑深度不应小于季节融化深度，对于非衔接的多年冻土应等于或超过多年冻土层的上限深度。试坑底面积不应小于2m × 2m。

29.3.3 试验前应进行冻结土层的岩性和冷生构造的描述，并取样进行其物理性试验。

29.3.4 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 内热式传压钢板。传压板可取圆形或方形，中空式平板。应有足够刚度，承受上部荷载时不发生变形，面积不宜小于5000cm²。

2 加热系统：传压板加热可用电热或水(汽)热，加热应均匀，加热温度不应超过90。

传压板周围应形成一定的融化圈，其宽度宜等于或大于传压板直径的0.3倍。

加热系统应根据上述加热方式和要求确定。

3 加荷系统：传压板加荷可通过传压杆自设在坑顶上的加荷装置实现。加荷方式可用千斤顶或压块。当冻土的总含水率超过液限时，加荷装置的压重应等于或小于传压板底面高程处的原始压力。

4 沉降测量系统：沉降测量可采用百分表或位移传感器。测量准确度应为0.1mm。

5 温度测量系统：温度测量系统可由热电偶及数字电压表组成，测量准确度为0.1。

29.3.5 试验前应按下述步骤进行试验准备和仪器设备的安装：

1 仔细开挖试坑，整平坑底面，不得破坏基土。必要时进行坑壁保护。

2 在传压板的边侧打钻孔，孔径3~5cm，孔深宜为50cm。将五支热电偶测温端自下而上每隔10cm逐个放入孔内，并用粘土填实钻孔。

3 坑底面铺砂找平。铺砂厚度不应大于2cm。

- 4 将传压板放置在坑底中央砂面上。
- 5 安装加荷装置，应使加荷点处于传压板中心部位。
- 6 在传压板周边等距安装3个沉降位移计。

7 接通加热、测温系统，并进行安全和安装可靠性检查后，向传压板施加等于该处上部原始土层的压力(不小于50kPa)，直至传压板沉降稳定后，调整位移计至零读数，作好记录。

29.3.6 试验应按下列步骤进行：

1 施加等于原始土层的上覆压力(包括加荷设备)。接通电源，使传压板下和周围冻土缓慢均匀融化。每隔1h测记一次土温和位移。

2 当融化深度达到25~30cm时，切断电源停止加热。用钢钎探测一次融化深度，并继续测记土温和位移。当融化深度接近40cm(0.5倍传压板直径)时，每15min测记一次融化深度。当0 温度达到40cm时测记位移量，并用钢钎测记一次融化深度。

3 当停止加热后，依靠余热不能使传压板下的冻土继续融化达到0.5倍传压板直径的深度时，应继续补热，直至满足这一要求。

4 经上述步骤达到融沉稳定后，开始逐级加荷进行压缩试验。加荷等级视实际工程需要确定，对粘土宜取50kPa，砂土宜取75kPa，含巨粒土宜取100kPa，最后一级荷载应比土层的计算压力大100~200kPa。

5 施加一级荷载后，每10、20、30、60min测记一次位移计示值，此后每1h测记一次，直至传压板沉降稳定后再加下一级荷载。沉降量可取3个位移计读数的平均值。沉降稳定标准对粘土宜取0.05mm/h，砂和含巨粒土宜取0.1mm/h。

6 试验结束后，拆除加荷装置，清除垫砂和10cm厚表土，然后取2~3个融化压实土样，用作含水率、密度及其他必要的试验。最后，应挖除其余融化压实土测量融化盘。

29.3.7 进行下一土层的试验时，应刮除表面5~10cm土层。

29.3.8 融沉系数应按下列式计算：

$$s_0 = \frac{S_0}{H_0} \quad (29.3.8)$$

式中 S_0 ——冻土融沉($p \approx 0$)阶段的沉降量(cm)；

H_0 ——融化深度(cm)。

29.3.9 融化压缩系数，应按下列式计算：

$$a_{tc} = \frac{\Delta}{\Delta p} K \quad (29.3.9)$$

式中 Δ ——相应于某一压力范围(Δp)的相对沉降；

K ——系数：粘土为1.0，粉质粘土为1.2，砂土为1.3，巨粒土为1.35。

29.3.10 以单位变形量为纵坐标，压力为横坐标绘制单位变形量与压力关系曲线，见图29.2.9。

29.3.11 现场融化压缩试验的记录格式见附录D表D—23。

30酸碱度试验

30.0.1 本试验方法采用电测法，适用于各类土。

30.0.2 本试验所用的主要设备应符合下列规定：

- 1 酸度计：应附玻璃电极、甘汞电极或复合电极。
- 2 分析筛：孔径2mm。
- 3 天平：称量200g，最小分度值0.01g。
- 4 电动振荡器和电动磁力搅拌器。

5 其他设备：烘箱、烧杯、广口瓶、玻璃棒、1000mL容量瓶、滤纸等。

30.0.3 本试验所用试剂应符合下列规定。

1 标准缓冲溶液：

1) $pH = 4.01$ ：称取经105~110 烘干的邻苯二甲酸氢钾($KHC_8H_4O_4$)10.21g，通过漏斗用纯水冲洗入1000mL容量瓶中，使溶解后稀释，定容至1000mL。

2) $pH = 6.87$ ：称取在105~110 烘干冷却后的磷酸氢二钠(Na_2HPO_4)3.53g和磷酸二氢钾(KH_2PO_4)3.39g，经漏斗用纯水冲洗入1000mL容量瓶中，待溶解后，继续用纯水稀释，定容至1000mL。

3) $pH = 9.18$ ：称取硼砂($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)3.80g，经漏斗用已除去 CO_2 的纯水冲洗入1000mL容量瓶中，待溶解后继续用除去 CO_2 的纯水稀释，定容至1000mL。宜贮于干燥密闭的塑料瓶中保存，使用2个月。

2 饱和氯化钾溶液：向适量纯水中加入氯化钾(KCl)，边加边搅拌，直至不再溶解为止。

注：所有试剂均为分析纯化学试剂。

30.0.4 酸度计校正：应在测定试样悬液之前，按照酸度计使用说明书，用标准缓冲溶液进行标定。

30.0.5 试样悬液的制备：称取过2mm筛的风干试样10g，放入广口瓶中，加纯水50mL(土水比为1:5)，振荡3min，静置30min。

30.0.6 酸碱度试验应按下列步骤进行：

1 于小烧杯中倒入试样悬液至杯容积的2/3处，杯中投入搅拌棒一只，然后将杯置于电动磁力搅拌器上。

2 小心地将玻璃电极和甘汞电极(或复合电极)放入杯中，直至玻璃电极球部被悬液浸没为止，电极与杯底应保持适量距离，然后将电极固定于电极架上，并使电极与酸度计连接。

3 开动磁力搅拌器，搅拌悬液约1min后，按照酸度计使用说明书测定悬液的 pH 值，准确至0.01。

4 测定完毕，关闭电源，用纯水洗净电极，并用滤纸吸干，或将电极浸泡于纯水中。

30.0.7 电测法酸碱度试验记录格式见附录D表D—45。

31 易溶盐试验

31.1 浸出液制取

31.1.1 本试验方法适用于各类土。

31.1.2 浸出液制取所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 分析筛：孔径2mm。
- 2 天平：称量200g，最小分度值0.01g。
- 3 电动振荡器。
- 4 过滤设备：包括抽滤瓶、平底瓷漏斗、真空泵等。
- 5 离心机：转速为1000r/min。
- 6 其他设备：广口瓶、容量瓶、角勺、玻璃棒、烘箱等。

31.1.3 浸出液制取应按下列步骤进行：

1 称取过2mm筛下的风干试样50~100g(视土中含盐量和分析项目而定)，准确至0.01g。置于广口瓶中，按土水比1:5加入纯水，搅匀，在振荡器上振荡3min后抽气过滤。另取试样3~5g测定风干含水率。

2 将滤纸用纯水浸湿后贴在漏斗底部，漏斗装在抽滤瓶上，联通真空泵抽气，使滤纸与漏斗贴紧，将振荡后的试样悬液摇匀，倒入漏斗中抽气过滤，过滤时漏斗应用表面皿盖好。

3 当发现滤液混浊时，应重新过滤，经反复过滤，如果仍然混浊，应用离心机分离。所得的透明滤液，即为试样浸出液，贮于细口瓶中供分析用。

31.2 易溶盐总量测定

31.2.1 本试验采用蒸干法，适用于各类土。

31.2.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。
- 2 水浴锅、蒸发皿。
- 3 烘箱、干燥器、坩埚钳等。
- 4 移液管。

31.2.3 本试验所用的试剂，应符合下列规定：

- 1 15%双氧水溶液。
- 2 2%碳酸钠溶液。

31.2.4 易溶盐总量测定，应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取试样浸出液50~100mL，注入已知质量的蒸发皿中，盖上表面皿，放在水浴锅上蒸干。当蒸干残渣中呈现黄褐色时，应加入15%双氧水1~2mL，继续在水浴锅上蒸干，反复处理至黄褐色消失。

2 将蒸发皿放入烘箱，在105~110℃温度下烘干4~8h，取出后放入干燥器中冷却，称蒸发皿加试样的总质量，再烘干2~4h，于干燥器中冷却后再称蒸发皿加试样的总质量，反复进行至最后相邻两次质量差值不大于0.0001g。

3 当浸出液蒸干残渣中含有大量结晶水时，将使测得易溶盐质量偏高，遇此情况，可取蒸发皿两个，一个加浸出液50mL，另一个加纯水50mL(空白)，然后各加入等量2%碳酸钠溶液，搅拌均匀后，一起按照本条1、2款的步骤操作，烘干温度改为180℃。

31.2.5 未经2%碳酸钠处理的易溶盐总量按下式计算：

$$W = \frac{(m_2 - m_1) \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s} \times 100 \quad (31.2.5)$$

式中 W——易溶盐总量(%)；
 V_w ——浸出液用纯水体积(mL)；
 V_s ——吸取浸出液体积(mL)；
 M_s ——风干试样质量(g)；
——风干试样含水率(%)；
 m_2 ——蒸发皿加烘干残渣质量(g)；
 m_1 ——蒸发皿质量(g)。

31.2.6 用2%碳酸钠溶液处理后的易溶盐总量按下式计算：

$$W = \frac{(m - m_0)V_w / V_s (1 + 0.01)}{m_s} \times 100 \quad (31.2.6-1)$$

$$\left. \begin{array}{l} m_0 = m_3 - m_1 \\ m = m_4 - m_1 \end{array} \right\} \quad (31.2.6-2)$$

式中 m_3 ——蒸发皿加碳酸钠蒸干后质量(g)；
 m_4 ——蒸发皿加 Na_2CO_3 加试样蒸干后的质量(g)；
 m_0 ——蒸干后 Na_2CO_3 质量(g)；
 m ——蒸干后试样加 Na_2CO_3 质量(g)。

31.2.7 易溶盐总量测定的记录格式见附录D表D—46。

31.3 碳酸根和重碳酸根的测定

31.3.1 本试验方法适用于各类土。

31.3.2 碳酸根和重碳酸根测定所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 酸式滴定管：容量25mL，最小分度值为0.05mL。
- 2 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。
- 3 其他设备：移液管、锥形瓶、烘箱、容量瓶。

31.3.3 碳酸根和重碳酸根测定所用试剂，应符合下列规定：

- 1 甲基橙指示剂(0.1%)：称0.1g甲基橙溶于100mL纯水中。
- 2 酚酞指示剂(0.5%)：称取0.5g酚酞溶于50mL乙醇中，用纯水稀释至100mL。
- 3 硫酸标准溶液：溶解3mL分析纯浓硫酸于适量纯水中，然后继续用纯水稀释至1000mL。

4 硫酸标准溶液的标定：称取预先在160~180℃烘干2~4h的无水碳酸钠3份，每份0.1g。精确至0.0001g，放入3个锥形瓶中，各加入纯水20~30ml，再各加入甲基橙指示剂2滴，用配制好的硫酸标准溶液滴定至溶液由黄色变为橙色为终点，记录硫酸标准溶液用量，按下式计算硫酸标准溶液的准确浓度。

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \times 1000}{V(\text{H}_2\text{SO}_4)M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} \quad (31.3.3)$$

式中 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ ——硫酸标准溶液浓度(mol/L)；
 $V(\text{H}_2\text{SO}_4)$ ——硫酸标准溶液用量(mL)；
 $m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ ——碳酸钠的用量(g)；
 $M(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ ——碳酸钠的摩尔质量(g/mol)。

计算至0.0001mol/L。3个平行滴定，平行误差不大于0.05mL，取算术平均值。

注：硫酸标准溶液也可用标定过的氢氧化钠标准溶液标定，也可以用盐酸(HCl)标准溶液代替硫酸标准溶液。

31.3.4 碳酸根和重碳酸根的测定，应按下列步骤进行：

- 1 用移液管吸取试样浸出液25mL，注入锥形瓶中，加酚酞指示剂2~3滴，摇匀，

试液如不显红色，表示无碳酸根存在，如果试液显红色，即用硫酸标准溶液滴定至红色刚褪去为止，记下硫酸标准溶液用量，准确至0.05mL。

2 在加酚酞滴定后的试液中，再加甲基橙指示剂1~2滴，继续用硫酸标准溶液滴定至试液由黄色变为橙色为终点，记下硫酸标准溶液用量，准确至0.05mL。

31.3.5 碳酸根和重碳酸根的含量应按下列公式计算。

1 碳酸根含量应按下式计算：

$$b(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{2V_{1c}(\text{H}_2\text{SO}_4) \frac{V_w}{V_s} (1+0.01) \times 1000}{m_s} \quad (31.3.5-1)$$

$$\text{CO}_3^{2-} = b(\text{CO}_3^{2-}) \times 10^{-3} \times 0.060 \times 100 \quad (\%) \quad (31.3.5-2)$$

$$\text{CO}_3^{2-} = b(\text{CO}_3^{2-}) \times 60 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.3.5-3)$$

式中 $b(\text{CO}_3^{2-})$ ——碳酸根的质量摩尔浓度(mmol/kg土)；

CO_3^{2-} ——碳酸根的含量(%或mg/kg土)；

V_1 ——酚酞为指示剂滴定硫酸标准溶液的用量(mL)；

V_s ——吸取试样浸出液体积(mL)；

10^{-3} ——换算因数；

0.060——碳酸根的摩尔质量(kg/mol)；

60——碳酸根的摩尔质量(g/mol)。

计算至0.01mmol/kg土和0.001%或1mg/kg土，平行滴定误差不大于0.1mL，取算术平均值。

2 重碳酸根含量应按下式计算：

$$b(\text{HCO}_3^-) = \frac{2(V_2 - V_1)_c(\text{H}_2\text{SO}_4) \frac{V_w}{V_s} (1+0.01) \times 1000}{m_s} \quad (31.3.5-4)$$

$$\text{HCO}_3^- = b(\text{HCO}_3^-) \times 10^{-3} \times 0.061 \times 100 \quad (\%) \quad (31.3.5-5)$$

$$\text{或 } \text{HCO}_3^- = b(\text{HCO}_3^-) \times 61 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.3.5-6)$$

式中 $b(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的质量摩尔浓度(mmol/kg土)；

HCO_3^- ——重碳酸根的含量(%或mg/kg土)；

10^{-3} ——换算因数；

V_2 ——甲基橙为指示剂滴定硫酸标准溶液的用量(mL)；

0.061——重碳酸根的摩尔质量(kg/mol)；

61——重碳酸根的摩尔质量(g/mol)。

计算至0.01mmol/kg土和0.001%或1mg/kg土。平行滴定，允许误差不大于0.1mL，取算术平均值。

31.3.6 碳酸根和重碳酸根测定的记录格式见附录D表D—47(1)和表D—47(2)。

31.4 氯根的测定

31.4.1 本试验方法适用于各类土。

31.4.2 氯根测定所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。
- 2 酸式滴定管：容量25mL，最小分度值0.05mL，棕色。
- 3 其他设备：移液管、烘箱、锥形瓶、容量瓶等。

31.4.3 氯根测定所用试剂，应符合下列规定：

1 铬酸钾指示剂(5%)：称取5g铬酸钾(K_2CrO_4)溶于适量纯水中，然后逐滴加入硝酸银标准溶液至出现砖红色沉淀为止。放置过夜后过滤，滤液用纯水稀释至100mL，贮于滴瓶中。

2 硝酸银 $c(AgNO_3)$ 标准溶液：称取预先在105~110 温度烘干30min的分析纯硝酸银($AgNO_3$)3.3974g，通过漏斗冲洗入1L容量瓶中，待溶解后，继续用纯水稀释至1000mL，贮于棕色瓶中，则硝酸银的浓度为：

$$c(AgNO_3) = \frac{m(AgNO_3)}{V \cdot M(AgNO_3)} \\ = \frac{3.3974}{1 \times 169.868} = 0.02(\text{mol/L})$$

3 重碳酸钠 $c(NaHCO_3)$ 溶液：称取重碳酸钠1.7g溶于纯水中，并用纯水稀释至1000mL，其浓度约为0.02mol/L。

4 甲基橙指示剂：配制见本标准第31.3.3条1款。

31.4.4 氯根测定应按下列步骤进行：

1 吸取试样浸出液25mL于锥形瓶中，加甲基橙指示剂1~2滴，逐滴加入0.02mol/L浓度的重碳酸钠至溶液呈纯黄色(控制pH值为7)。再加入铬酸钾指示剂5~6滴，用硝酸银标准溶液滴定至生成砖红色沉淀为终点，记下硝酸银标准溶液的用量。

2 另取纯水25mL，按本条1款的步骤操作，作空白试验。

31.4.5 氯根的含量应按下式计算：

$$b(Cl^-) = \frac{(V_1 - V_2)c(AgNO_3) \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s} \times 1000 \quad (31.4.5-1)$$

$$Cl^- = b(Cl^-) \times 10^{-3} \times 0.0355 \times 100 \quad (\%) \quad (31.4.5-2)$$

或 $Cl^- = b(Cl^-) \times 35.5 \quad (\text{mg/kg} \pm) \quad (31.4.5-3)$

式中 $b(Cl^-)$ ——氯根的质量摩尔浓度(mmol/kg \pm)；

Cl^- ——氯根的含量(%或mg/kg \pm)；

V_1 ——浸出液消耗硝酸银标准溶液的体积(mL)；

V_2 ——纯水(空白)消耗硝酸银标准溶液的体积(mL)；

0.0355——氯根的摩尔质量(kg/mol)。

计算准确至0.01mmol/kg \pm 和0.001%或1mg/kg \pm ，平行滴定偏差不大于0.1mL，取算术平均值。

31.4.6 氯根测定的记录格式见附录D表D—48。

31.5 硫酸根的测定

——EDTA络合容量法

31.5.1 本试验方法适用于硫酸根含量大于、等于0.025%(相当于50mg/L的土)。

31.5.2 EDTA络合容量法测定所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

2 酸式滴定管：容量25mL，最小分度值0.1mL。

3 其他设备：移液管、锥形瓶、容量瓶、量杯、角匙、烘箱、研钵和杵、量筒。

31.5.3 EDTA络合容量法测定所用的试剂，应符合下列规定：

1 1:4盐酸溶液：将1份浓盐酸与4份纯水互相混合均匀。

2 钡镁混合剂：称取1.22g氯化钡($BaCl_2 \cdot 2H_2O$)和1.02g氯化镁($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)，

一起通过漏斗用纯水冲洗入500mL容量瓶中，待溶解后继续用纯水稀释至500mL。

3 氨缓冲溶液：称取70g氯化铵(NH₄Cl)于烧杯中，加适量纯水溶解后移入1000mL量筒中，再加入分析纯浓氨水570mL，最后用纯水稀释至1000mL。

4 铬黑T指示剂：称取0.5g铬黑T和100g预先烘干的氯化钠(NaCl)，互相混合研细均匀，贮于棕色瓶中。

5 锌基准溶液：称取预先在105~110℃烘干的分析纯锌粉(粒)0.6538g于烧杯中，小心地分次加入1:1盐酸溶液20~30mL，置于水浴上加热至锌完全溶解(切勿溅失)，然后移入1000mL容量瓶中，用纯水稀释至1000mL。即得锌基准溶液浓度为：

$$c(\text{Zn}^{2+}) = \frac{m(\text{Zn}^{2+})}{V \cdot M(\text{Zn}^{2+})} = \frac{0.6538}{1 \times 65.38} = 0.0100(\text{mol/L})$$

6 EDTA标准溶液：

1) 配制：称取乙二胺四乙酸二钠3.72g溶于热纯水中，冷却后移入1000mL容量瓶中，再用纯水稀释至1000mL。

2) 标定：用移液管吸取3份锌基准溶液，每份20mL，分别置于3个锥形瓶中，用适量纯水稀释后，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标准溶液滴定至溶液由红色变亮蓝色为终点，记下用量。按下式计算EDTA标准溶液的浓度。

$$c(\text{EDTA}) = \frac{V(\text{Zn}^{2+})c(\text{Zn}^{2+})}{V(\text{EDTA})} \quad (31.5.3)$$

式中 $c(\text{EDTA})$ ——EDTA标准溶液浓度(mol/L)；

$V(\text{EDTA})$ ——EDTA标准溶液用量(mL)；

$c(\text{Zn}^{2+})$ ——锌基准溶液的浓度(mol/L)；

$V(\text{Zn}^{2+})$ ——锌基准溶液的用量(mL)。

计算至0.0001mol/L，3份平行滴定，滴定误差不大于0.05mL，取算术平均值。

7 乙醇：95%分析纯。

8 1:1盐酸溶液：取1份盐酸与1份水混合均匀。

9 5%氯化钡(BaCl₂)溶液：溶解5g氯化钡(BaCl₂)于1000mL纯水中。

31.5.4 EDTA络合容量法测定，应按下列步骤进行：

1 硫酸根(SO₄²⁻)含量的估测：取浸出液5mL于试管中，加入1:1盐酸2滴，再加5%氯化钡溶液5滴，摇匀，按表31.5.4估测硫酸根含量。当硫酸盐含量小于50mg/L时，应采用比浊法，按本标准第31.6节进行操作。

表31.5.4 硫酸根估测方法选择与试剂用量表

加氯化钡后溶液混浊情况	SO ₄ ²⁻ 含量(mg/L)	测定方法	吸取土浸出液(mL)	钡镁混合剂用量(mL)
数分钟后微混浊	< 10	比浊法	—	—
立即呈生混浊	25 ~ 50	比浊法	—	—
立即混浊	50 ~ 100	EDTA	25	4 ~ 5
立即沉淀	100 ~ 200	EDTA	25	8
立即大量沉淀	> 200	EDTA	10	10 ~ 12

2 按表31.5.4估测硫酸根含量，吸取一定量试样浸出液于锥形瓶中，用适量纯水稀释后，投入刚果红试纸一片，滴加(1:4)盐酸溶液至试纸呈蓝色，再过量2~3滴，加热煮沸，趁热由滴定管准确滴加过量钡镁合剂，边滴边摇，直到预计的需要量(注意滴入量至少应过量50%)，继续加热煮沸5min，取下冷却静置2h。然后加氨缓冲溶液10mL，

铬黑T少许,95%乙醇5mL,摇匀,再用EDTA标准溶液滴定至试液由红色变为天蓝色为终点,记下用量 V_1 (mL)。

3 另取一个锥形瓶加入适量纯水,投刚果红试纸一片,滴加(1:4)盐酸溶液至试纸呈蓝色,再过量2~3滴。由滴定管准确加入与本条2款步骤等量的钡镁合剂,然后加氨缓冲溶液10mL,铬黑T指示剂少许。95%乙醇5mL摇匀,再用EDTA标准溶液滴定至由红色变为天蓝色为终点,记下用量 V_2 (mL)。

4 再取一个锥形瓶加入与本条2款步骤等体积的试样浸出液,然后按本标准第31.8.4条1款的步骤测定同体积浸出液中钙镁对EDTA标准溶液的用量 V_3 (mL)。

31.5.5 硫酸根含量应按下列式计算:

$$b(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{(V_3 + V_2 - V_1)c(\text{EDTA}) \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s} \times 1000 \quad (31.5.5-1)$$

$$\text{SO}_4^{2-} = b(\text{SO}_4^{2-}) \times 10^{-3} \times 0.096 \times 100 \quad (\%) \quad (31.5.5-2)$$

或 $\text{SO}_4^{2-} = b(\text{SO}_4^{2-}) \times 96 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.5.5-3)$

式中 $b(\text{SO}_4^{2-})$ ——硫酸根的质量摩尔浓度(mmol/kg土);

SO_4^{2-} ——硫酸根的含量(%或mg/kg土);

V_1 ——浸出液中钙镁与钡镁合剂对EDTA标准溶液的用量(mL);

V_2 ——用同体积钡镁合剂(空白)对EDTA标准溶液的用量(mL);

V_3 ——同体积浸出液中钙镁对EDTA标准溶液的用量(mL);

0.096——硫酸根的摩尔质量(kg/mol);

$c(\text{EDTA})$ ——EDTA标准溶液的浓度(mol/L)。

计算准确至0.01mmol/kg土和0.001%或1mg/kg土,平行滴定允许偏差不大于0.1mL,取算术平均值。

31.5.6 EDTA络合容量法硫酸根测定的记录格式见附录D表D—49。

31.6 硫酸根的测定

——比浊法

31.6.1 本试验方法适用于硫酸根含量小于0.025%(相当于50mg/L)的土。

31.6.2 比浊法测定所用的主要仪器设备,应符合下列规定:

1 光电比色计或分光光度计。

2 电动磁力搅拌器。

3 量匙容量0.2~0.3cm³。

4 其他设备:移液管、容量瓶、筛子(0.6~0.85mm)、烘箱、分析天平(最小分度值0.1mg)。

31.6.3 比浊法测定所用的试剂,应符合下列规定:

1 悬浊液稳定剂:将浓盐酸(HCl)30mL,95%的乙醇100mL,纯水300mL,氯化钠(NaCl)25g混匀的溶液与50mL甘油混合均匀。

2 结晶氯化钡(BaCl_2):将氯化钡结晶过筛取粒径在0.6~0.85mm之间的晶粒。

3 硫酸根标准溶液:称取预先在105~110℃烘干的无水硫酸钠0.1479g,用纯水通过漏斗冲洗入1000mL容量瓶中,溶解后,继续用纯水稀释至1000mL,此溶液中硫酸根含量为0.1mg/ml。

31.6.4 比浊法测定,应按下列步骤进行:

1 标准曲线的绘制:用移液管分别吸取硫酸根标准溶液5、10、20、30、40mL注入

100mL容量瓶中,然后均用纯水稀释至刻度,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。再分别移入烧杯中,各加悬浊液稳定剂5.0mL和一量匙的氯化钡结晶,置于磁力搅拌器上搅拌1min。以纯水为参比,在光电比色计上用紫色滤光片(如用分光光度计,则用400~450nm的波长)进行比浊,在3min内每隔30s测读一次悬浊液吸光值,取稳定后的吸光值。再以硫酸根含量为纵坐标,相对应的吸光值为横坐标,在坐标纸上绘制关系曲线,即得标准曲线。

2 硫酸根含量的测定:用移液管吸取试样浸出液100mL,(硫酸根含量大于4mg/mL时,应少取浸出液并用纯水稀释至100mL)置于烧杯中,然后按本条1款的标准系列溶液加悬浊液稳定剂等一系列步骤进行操作,以同一试样浸出液为参比,测定悬浊液的吸光值,取稳定后的读数,由标准曲线查得相应硫酸根的含量(mg/100mL)。

31.6.5 硫酸根含量按下式计算:

$$SO_4^{2-} = \frac{m(SO_4^{2-}) \frac{V_W}{V_S} (1 + 0.01) \times 100}{m_s 10^3} \quad (\%) \quad (31.6.5-1)$$

$$\text{或 } SO_4^{2-} = (SO_4^{2-} \%) \times 10^6 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.6.5-2)$$

$$b(SO_4^{2-}) = (SO_4^{2-} \% / 0.096) \times 1000 \quad (31.6.5-3)$$

式中 SO_4^{2-} ——硫酸根含量(%或mg/kg土);

$b(SO_4^{2-})$ ——硫酸根的质量摩尔浓度(mmol/kg土);

$m(SO_4^{2-})$ ——由标准曲线查得 SO_4^{2-} 含量(mg);

$SO_4^{2-} \%$ ——硫酸根含量以小数计;

0.096 —— SO_4^{2-} 的摩尔质量(kg/mol)。

计算准确至0.01mmol/kg土和0.001%或1mg/kg土。

31.6.6 比浊法硫酸根测定的记录格式见附录D表D—50。

31.7 钙离子的测定

31.7.1 本试验方法适用于各类土。

31.7.2 钙离子测定所用的主要仪器设备,应符合下列规定;

1 酸式滴定管:容量25mL,最小分度值0.1mL。

2 其他设备:移液管、锥形瓶、量杯、天平、研钵等。

31.7.3 钙离子测定所用的试剂,应符合下列规定:

1 2mol/L氢氧化钠溶液:称取8g氢氧化钠溶于100mL纯水中。

2 钙指示剂:称取0.5g钙指示剂与50g预先烘焙的氯化钠一起置于研钵中研细混合均匀,贮于棕色瓶中,保存于干燥器内。

3 EDTA标准溶液:配制与标定按本标准第31.5.3条6款的步骤操作。

4 1:4盐酸溶液:按本标准第31.5.3条1款的步骤配制。

5 刚果红试纸。

6 95%乙醇溶液。

31.7.4 钙离子测定,应按下列步骤进行:

1 用移液管吸取试样浸出液25mL于锥形瓶中,投刚果红试纸一片,滴加(1:4)盐酸溶液至试纸变为蓝色为止,煮沸除去二氧化碳(当浸出液中碳酸根和重碳酸根含量很少时,可省去此步骤)。

2 冷却后,加入2mol/L氢氧化钠溶液2mL(控制pH=12)摇匀。放置1~2min后,加钙指示剂少许,95%乙醇5mL,用EDTA标准溶液滴定至试液由红色变为浅蓝色为终点。

记下EDTA标准溶液用量，估读至0.05mL。

31.7.5 钙离子含量按下式计算：

$$b(\text{Ca}^{2+}) = \frac{V(\text{EDTA})c(\text{EDTA})\frac{V_w}{V_s}(1+0.01) \times 1000}{m_s} \quad (31.7.5-1)$$

$$\text{Ca}^{2+} = b(\text{Ca}^{2+}) \times 10^{-3} \times 0.040 \times 100 \quad (\%) \quad (31.7.5-2)$$

或 $\text{Ca}^{2+} = b(\text{Ca}^{2+}) \times 40 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.7.5-3)$

式中 $b(\text{Ca}^{2+})$ ——钙离子的质量摩尔浓度(mmol/kg土)；

Ca^{2+} ——钙离子含量(%或mg/kg土)；

$c(\text{EDTA})$ ——EDTA标准溶液浓度(mol/L)；

$V(\text{EDTA})$ ——EDTA标准溶液用量(mL)；

0.040——钙离子的摩尔质量(kg/mol)。

计算准确至0.01mmol/kg土和0.001%或1mg/kg土，需平行滴定，滴定偏差不应大于0.1mL，取算术平均值。

31.7.6 钙离子测定的记录格式见附录D表D—51。

31.8 镁离子的测定

31.8.1 本试验方法适用于各类土。

31.8.2 镁离子测定所用的主要仪器设备，应符合本标准第31.7.2条的规定。

31.8.3 镁离子测定所用试剂，应符合本标准第31.5.3和31.7.3条的规定。

31.8.4 镁离子的测定，应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取试样浸出液25mL于锥形瓶中，加入氨缓冲溶液5mL，摇匀后加入铬黑T指示剂少许，95%乙醇5mL，充分摇匀，用EDTA标准溶液滴定至试液由红色变为亮蓝色为终点，记下EDTA标准溶液用量，精确至0.05mL。

2 用移液管吸取与本条1款等体积的试样浸出液，按照本标准第31.7.4条的试验步骤操作，滴定钙离子对EDTA标准溶液的用量。

31.8.5 镁离子含量按下列公式计算：

$$b(\text{Mg}^{2+}) = \frac{(V_2 - V_1)c(\text{EDTA})\frac{V_w}{V_s}(1+0.01) \times 1000}{m_s} \quad (31.8.5-1)$$

$$\text{Mg}^{2+} = b(\text{Mg}^{2+}) \times 10^{-3} \times 0.024 \times 100 \quad (\%) \quad (31.8.5-2)$$

或 $\text{Mg}^{2+} = b(\text{Mg}^{2+}) \times 24 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.8.5-3)$

式中 $b(\text{Mg}^{2+})$ ——镁离子的质量摩尔浓度(mmol/kg土)；

Mg^{2+} ——镁离子含量(%或mg/kg土)；

V_2 ——钙镁离子对EDTA标准溶液的用量(mL)；

V_1 ——钙离子对EDTA标准溶液的用量(mL)；

$c(\text{EDTA})$ ——EDTA标准溶液浓度(mol/L)；

0.024——镁离子的摩尔质量(kg/mol)。

计算准确至0.01mmol/kg土和0.001%或1mg/kg土，需平行滴定，滴定偏差不应大于0.1mL，取算术平均值。

31.8.6 镁离子测定记录格式见附录D表D—52。

31.9 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度测定

31.9.1 本试验方法适用于各类土。

31.9.2 钙、镁离子的原子吸收分光光度测定所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 原子吸收分光光度计：附有元素灯和空气与乙炔燃气等设备以及仪器操作使用说明书。

2 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

3 其他设备：烘箱、1L容量瓶、50ml容量瓶、移液管、烧杯。

31.9.3 钙、镁离子原子吸收分光光度测定所用试剂，应符合下列规定：

1 钙离子标准溶液：称取预先在105~110℃烘干的分析纯碳酸钙0.2497g于烧杯中，加入少量稀盐酸至完全溶解，然后移入1L容量瓶中，用纯水冲洗烧杯并稀释至刻度，贮于塑料瓶中。此液浓度（Ca²⁺）为100mg/L。

2 镁离子标准溶液：称取光谱纯金属镁0.1000g置于烧杯中，加入稀盐酸至完全溶解，然后用纯水冲洗入1L容量瓶中并继续稀释至刻度，贮于塑料瓶中。此液浓度（Mg²⁺）为100mg/L。

3 5%氯化镧溶液：称取光谱纯的氯化镧（LaCl₃·7H₂O）13.4g溶于100mL纯水中。

31.9.4 钙、镁离子原子吸收分光光度测定，应按下列步骤进行：

1 绘制标准曲线。

1) 配制标准系列：取50mL容量瓶6个，准确加入（Ca²⁺）为100mg/L的标准溶液0、1、3、5、7、10mL（相当于0~20mg/L Ca²⁺）和（Mg²⁺）为100mg/L的标准溶液0、0.5、1、2、3、5mL（相当于0~10mg/L Mg²⁺），再各加入5%氯化镧溶液5mL，最后用纯水稀释至刻度。

2) 绘制标准曲线：分别选用钙和镁的空心阴极灯，波长钙离子（Ca²⁺）为422.7nm，镁离子（Mg²⁺）为285.2nm，以空气~乙炔燃气等为工作条件，按原子吸收分光光度计的使用说明书操作，分别测定钙和镁的吸收值。然后分别以吸收值为纵坐标，相应浓度为横坐标分别绘制钙、镁的标准曲线。也可采用最小二乘法建立回归方程，即：

$$\left. \begin{aligned} y &= f + nx \\ x &= \frac{y - f}{n} \end{aligned} \right\}$$

式中 y——测得吸收值；

x——相应的钙、镁浓度（mg/L）；

f——截距；

n——斜率。

回归方程的相关系数 r，应满足 |r| > 0.999 的要求。

2 试样测定：用移液管吸取一定量的试样浸出液（钙浓度小于20mg/L，镁浓度小于10mg/L），于50mL容量瓶中，加入5%氯化镧溶液5mL，用纯水稀释至50mL。然后同本条1款标准曲线绘制的工作条件，按原子吸收分光光度计使用说明书操作，分别测定钙和镁的吸收值，并用测得的钙、镁吸收值，从标准曲线查得或由式（31.9.4）求得相应的钙、镁离子浓度。

31.9.5 钙、镁离子含量按下列公式计算：

$$Ca^{2+} = \frac{(Ca^{2+})V_c \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s \times 10^3} \times 100 \quad (\%) \quad (31.9.5-1)$$

$$\text{或 } Ca^{2+} = (Ca^{2+\%}) \times 10^6 \quad (\text{mg/kg} \pm) \quad (31.9.5-2)$$

$$\text{Mg}^{2+} = \frac{(\text{Mg}^{2+})V_c \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s \times 10^3} \times 100 \quad (\%) \quad (31.9.5-3)$$

或 $\text{Mg}^{2+} = (\text{Mg}^{2+\%}) \times 10^6 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.9.5-4)$

$$b(\text{Ca}^{2+}) = (\text{Ca}^{2+\%} / 0.040) \times 1000 \quad (31.9.5-5)$$

$$b(\text{Mg}^{2+}) = (\text{Mg}^{2+\%} / 0.024) \times 1000 \quad (31.9.5-6)$$

式中 (Ca^{2+}) ——由标准曲线查得或本标准式(31.9.4)求得钙离子浓度(mg/L)；

(Mg^{2+}) ——由标准曲线查得或本标准式(31.9.4)求得镁离子浓度(mg/L)；

V_c ——测定溶液定容体积(=0.05L)；

10^3 ——将毫克换算成克。

计算准确至0.01mmol/kg土和0.001%或1mg/kg土。

31.9.6 钙、镁离子原子吸收分光光度测定的记录格式见附录D表D—53。

31.10 钠离子和钾离子的测定

31.10.1 本试验方法适用于各类土。

31.10.2 钠离子和钾离子测定所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 火焰光度计及其附属设备。
- 2 天平：称量200g，最小分度值0.0001g。
- 3 其他设备：高温炉、烘箱、移液管、1L容量瓶、50mL容量瓶、烧杯等。

31.10.3 钠离子和钾离子测定所用的试剂，应符合下列规定：

1 钠(Na^+)标准溶液：称取预先于550℃灼烧过的氯化钠(NaCl)0.2542g，在少量纯水中溶解后，冲洗入1L容量瓶中，继续用纯水稀释至1000mL，贮于塑料瓶中。此溶液含钠离子(Na^+)为0.1mg/ml(100mg/L)。

2 钾(K^+)标准溶液：称取预先于105~110℃烘干的氯化钾(KCl)0.1907g，在少量纯水中溶解后，冲洗入1L容量瓶中，继续用水稀释至1000mL，贮于塑料瓶中。此溶液含钾离子(K^+)为0.1mg/mL(100mg/L)。

31.10.4 钠离子和钾离子的测定，应按下列步骤进行：

1 绘制标准曲线。

1) 配制标准系列：取50mL容量瓶6个，准确加入钠(Na^+)标准溶液和钾(K^+)标准溶液各为0、1、5、10、15、25mL，然后各用纯水稀释至50mL，此系列相应浓度范围为 (Na^+)0~50mg/L、(K^+)0~50mg/L。

2) 按照火焰光度计使用说明书操作，分别用钠滤光片和钾滤光片，逐个测定其吸收值。然后分别以吸收值为纵坐标，相应钠离子(Na^+)、钾离子(K^+)浓度为横坐标，分别绘制钠(Na^+)、钾(K^+)的标准曲线。也可采用最小二乘法建立回归方程。统计方法和相关系数应符合本标准式(31.9.4)的规定。

2 试样测定：用移液管吸取一定量试样浸出液(以不超出标准曲线浓度范围为准)于50mL容量瓶中，用纯水稀释至50mL，然后同本条1款绘制标准曲线的工作条件，按火焰光度计使用说明书操作，分别用钠滤光片和钾滤光片测定其吸收值。并用测得的钠、钾吸收值，从标准曲线查得或由回归方程求得相应的钠、钾离子浓度。

31.10.5 钠离子和钾离子应按下列公式计算：

$$\text{Na}^+ = \frac{(\text{Na}^+)V_c \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s \times 10^3} \times 100 \quad (\%) \quad (31.10.5-1)$$

$$\text{或 } \text{Na}^+ = (\text{Na}^+\%) \times 10^6 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.10.5-2)$$

$$\text{K}^+ = \frac{(\text{K}^+)V_c \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s \times 10^3} \quad (\%) \quad (31.10.5-3)$$

$$\text{或 } \text{K}^+ = (\text{K}^+\%) \times 10^6 \quad (\text{mg/kg土}) \quad (31.10.5-4)$$

$$b(\text{Na}^+) = (\text{Na}^+\% / 0.023) \times 1000 \quad (31.10.5-5)$$

$$b(\text{K}^+) = (\text{K}^+\% / 0.039) \times 1000 \quad (31.10.5-6)$$

式中 Na^+ 、 K^+ ——分别为试样中钠、钾的含量(%或mg/kg土)；
 $b(\text{Na}^+)$ 、 $b(\text{K}^+)$ ——分别为试样中钠、钾的质量摩尔浓度(mmol/kg土)；
 0.023、0.039——分别为 Na^+ 和 K^+ 的摩尔质量(kg/mol)。

31.10.6 钠、钾离子测定的记录格式见附录D表D—54。

32 中溶盐(石膏)试验

32.0.1 本试验方法适用于含石膏较多的土类。本试验规定采用酸浸提—质量法。

32.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。
- 2 加热设备：电炉、高温炉。
- 3 过滤设备：漏斗及架、定量滤纸、洗瓶、玻璃棒。
- 4 制样设备：瓷盘、0.5mm筛子、玛瑙研钵及杵。
- 5 其他设备：烧杯、瓷坩埚、干燥器、坩埚钳、试管、量筒、水浴锅、石棉网、烘箱。

32.0.3 本试验所用试剂，应符合下列规定：

- 1 0.25mol/Lc(HCl)溶液：量取浓盐酸20.8mL，用纯水稀释至1000mL。
- 2 (1：1)盐酸溶液：取1份浓盐酸与1份纯水相互混合均匀。
- 3 10%氢氧化铵溶液：量取浓氨水31mL，用纯水稀释至100mL。
- 4 10%氯化钡(BaCl_2)溶液：称取10g氯化钡溶于少量纯水中，稀释至100mL。
- 5 1%硝酸银(AgNO_3)溶液：溶解0.5g硝酸银于50mL纯水中，再加数滴浓硝酸酸化，贮于棕色滴瓶中。
- 6 甲基橙指示剂：称取0.1g甲基橙溶于100mL水中，贮于滴瓶中。

32.0.4 中溶盐试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备：将潮湿试样捏碎摊开于瓷盘中，除去试样中杂物(如植物根茎叶等)，置于阴凉通风处晾干，然后用四分法选取试样约100g，置于玛瑙研钵中研磨，使其全部通过0.5mm筛(不得弃去或撒失)备用。

2 称取已制备好的风干试样1~5g(视其含量而定)，准确至0.0001g，放入200mL烧杯中，缓慢地加入0.25mol/Lc(HCl)50mL边加边搅拌。如试样含有大量碳酸盐，应继续加此盐酸至无气泡产生为止，放置过夜。另取此风干试样约5g，准确至0.01g，测定其含水率。

3 过滤，沉淀用0.25mol/Lc(HCl)淋洗至最后滤液中无硫酸根离子为止(取最后滤液于试管中，加少许氯化钡溶液，应无白色浑浊)，即得酸浸提液(滤液)。

4 收集滤液于烧杯中，将其浓缩至约150mL。冷却后，加甲基橙指示剂，用10%氢氧化铵溶液中和至溶液呈黄色为止，再用(1：1)盐酸溶液调至红色后，多加10滴，加热煮沸，在搅拌下趁热、缓慢滴加10%氯化钡溶液，直至溶液中硫酸根离子沉淀完全，并少有过量为止(让溶液静置澄清后，沿杯壁滴加氯化钡溶液，如无白色浑浊生成，表示已沉淀完全)。置于水浴锅上，在60℃保持2h。

5 用致密定量滤纸过滤，并用热的纯水洗涤沉淀，直到最后洗液无氯离子为止(用1%硝酸银检验，应无白色浑浊)。

6 用滤纸包好洗净的沉淀，放入预先已在600 灼烧至恒量的瓷柑锅中，置于电炉上灰化滤纸(不得出现明火燃烧)。然后移入高温炉中，控制在600 灼烧1h，取出放于石棉网上稍冷，再放入干燥器中冷却至室温，用分析天平称量，准确至0.0001g。再将其放入高温炉中控制600 灼烧30min，取出冷却，称量。如此反复操作至恒量为止。

7 另取1份试样按本标准第31.5节或第31.6节测定易溶盐中的硫酸根离子，并求水浸出液中硫酸根含量 $W(SO_4^{2-})_w$ 。

32.0.5 中溶盐(石膏)含量，应按下式计算：

$$W(SO_4^{2-})_b = \frac{(m_2 - m_1) \times 0.4114 \times (1 + 0.01) \times 100}{m_s} \quad (32.0.5-1)$$

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O = [W(SO_4^{2-})_b - W(SO_4^{2-})_w] \times 1.7992 \quad (32.0.5-2)$$

式中 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ——中溶盐(石膏)含量(%)；

$W(SO_4^{2-})_b$ ——酸浸出液中硫酸根的含量(%)；

$W(SO_4^{2-})_w$ ——水浸出液中硫酸根的含量(%)；

m_1 ——柑坩的质量(g)；

m_2 ——柑坩加沉淀物质量(g)；

m_s ——风干试样的质量(g)；

——风干试样含水率(%)；

0.4114——由硫酸钡换算成硫酸根($SO_4^{2-}/BaSO_4$)的因数；

1.7922——由硫酸根换算成硫酸钙(石膏) $CaSO_4 \cdot 2H_2O/SO_4^{2-}$ 的因数。

计算至0.01%。

注：如果试验前试样预先进行洗盐，则式(32.0.5—2)中的 $W(SO_4^{2-})_w$ 项，应舍弃不计。

32.0.6 中溶盐(石膏)试验的记录格式见附录D表D-55。

33 难溶盐(碳酸钙)试验

33.0.1 本试验方法适用于碳酸盐含量较低的各类土，采用气量法。

33.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 二氧化碳约测计：如图33.0.2。

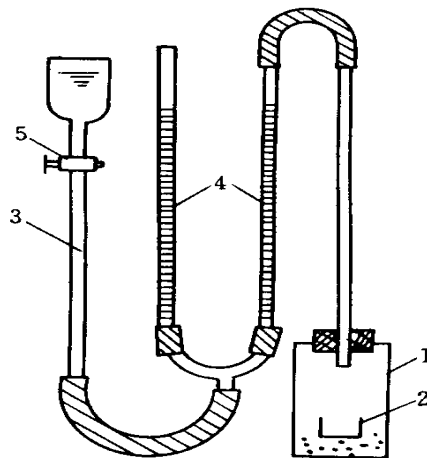


图33.0.2 二氧化碳约测计示意图

1—广口瓶；2—坩坩；3—移动管；4—量管；5—阀门

T——试验时水温(= 273十)K ;
R——摩尔气体常数[= 8314kPamL/(mol.K)]。

计算准确至0.1%。

33.0.6 难溶盐(碳酸钙)试验的记录格式见附录D表D—56。

34有机质试验

34.0.1 本试验方法适用于有机质含量不大于15%的土，采用重铬酸钾容量法。

34.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。
- 2 油浴锅：带铁丝笼，植物油。
- 3 加热设备：烘箱、电炉。
- 4 其他设备：温度计(0~200 ，刻度0.5)、试管、锥形瓶、滴定管、小漏斗、洗瓶、玻璃棒、容量瓶、干燥器、0.15mm筛子等。

34.0.3 本试验所用试剂，应符合下列规定：

1 重铬酸钾标准溶液：准确称取预先在105~110 烘干并研细的重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)44.1231g，溶于800mL纯水中(必要时可加热)，在不断搅拌下，缓慢地加入浓硫酸1000ml，冷却后移入2L容量瓶中，用纯水稀释至刻度。此标准溶液浓度：

$$c(K_2Cr_2O_7) = 0.075mol/L$$

2 硫酸亚铁标准溶液：称取硫酸亚铁($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)56g(或硫酸亚铁铵80g)，溶于适

表33.0.5 不同温度和大气压力下CO₂密度(μg/mL)

气压(KPa) 水温 ()	98.925	99.258	99.591	99.858	100.125	100.458	100.791	101.059	101.325	101.658	101.991	102.258	102.525	102.791	103.191
28	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1823	1828	1833	1837	1842	1847	1852	1856
27	1784	1790	1797	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	1862	1867	1872	1877	1882
23	1809	1815	1822	1828	1835	1841	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	1886	1892	1897	1902	1907	1912	1917	1922	1927
16	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1898	1903	1908	1913	1918	1923	1928	1933
15	1859	1866	1872	1879	1886	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	1912	1919	1924	1929	1934	1939	1944	1949	1954
12	1878	1885	1892	1899	1906	1912	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

量纯水中，加3mol/Lc(H₂SO₄)溶液30ml，然后用纯水稀释至1L。按如下标定。

准确量取重铬酸钾标准溶液10.00mL3份，分别置于锥形瓶中，各用纯水稀释至约60mL，再分别加入邻啡罗啉指示剂3~5滴，用硫酸亚铁标准溶液滴定，使溶液由黄色经绿突变至橙红色为终点，记录其用量。3份平行误差不得超过0.05mL，取算术平均值。求硫酸亚铁标准溶液准确浓度：

$$c(\text{FeSO}_4) = \frac{c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{V(\text{FeSO}_4)} \quad (34.0.3)$$

式中 $c(\text{FeSO}_4)$ ——硫酸亚铁的浓度(mol/L)；

$V(\text{FeSO}_4)$ ——滴定硫酸亚铁用量(mL)；

$c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ ——重铬酸钾浓度(mol/L)；

$V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ ——取重铬酸钾体积(mL)。

计算至0.0001mol/L。

3 邻啡罗啉指示剂：称取邻啡罗啉1.845g和硫酸亚铁0.695g溶于100mL纯水中，贮于棕色瓶中。

34.0.4 有机质试验应按下列步骤进行：

1 当试样中含有有机碳小于8mg时，准确称取已除去植物根并通过0.15mm筛的风干试样0.1000~0.5000g，放入干燥的试

管底部，用滴定管缓慢滴入重铬酸钾标准溶液10.00mL，摇匀，于试管口插一小漏斗。

2 将试管插入铁丝笼中，放入190左右的油浴锅内，试管内的液面应低于油面。控制在170~180的温度范围，从试管内溶液沸腾时开始计时，煮沸5min，取出稍冷。

3 将试管内溶液倒入锥形瓶中，用纯水洗净试管底部，并使试液控制在60mL，加入邻啡罗啉指示剂3~5滴，用硫酸亚铁标准溶液滴定至溶液由黄色经绿色突变为橙红色时为终点。记下硫酸亚铁标准溶液的用量，估读至0.05mL。

4 试验同时，按本条1~3款的步骤操作，以纯砂代替试样进行空白试验。

34.0.5 有机质按下式计算：

$$O_m = \frac{c(\text{Fe}^{2+})\{V'(\text{Fe}^{2+}) - V(\text{Fe}^{2+})\} \times 0.003 \times 1.724 \times (1 + 0.01)}{m_s} \times 100 \quad (34.0.5)$$

式中 O_m ——有机质含量(%)；

$c(\text{Fe}^{2+})$ ——硫酸亚铁标准溶液浓度(mol/L)；

$V'(\text{Fe}^{2+})$ ——空白滴定硫酸亚铁用量(mL)；

$V(\text{Fe}^{2+})$ ——试样测定硫酸亚铁用量(mL)；

0.003——1/4硫酸亚铁标准溶液浓度时的摩尔质量(kg/mol)；

1.724——有机碳换算成有机质的因数。

计算准确至0.01%。

34.0.6 有机质试验的记录格式见附录D表D—57。

35 土的离心含水当量试验

35.0.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm的土。应在恒温下进行试验。

土的离心含水当量定义为饱和土(经过浸泡)经受1000倍重力的离心作用1h后的含水率。以烘干土量的百分比表示。

35.0.2 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 离心机(图35.0.2)：能对试样重心施加相当于1000倍重力的离心力达1h。

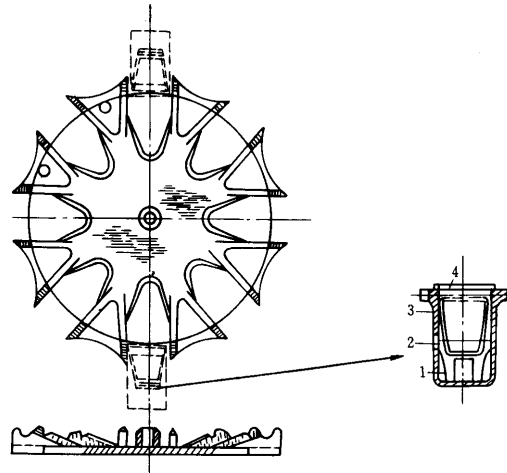


图35.0.2 离心机主零件示意图

1—坩埚支承架；2—滤纸；3—离心枢轴杯；4—坩埚

2 瓷坩埚：具有底孔，高度宜为40mm，顶部直径为25mm，底部直径为20mm。

3 套杯：带有盖子的离心枢轴杯，内装多孔坩埚底的瓷坩埚及相应的支架，要求套杯与坩埚支架彼此对应平衡，并成对地编号。

35.0.3 土的离心含水当量试验，应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本标准第3.1.5条的规定进行。过0.5mm筛，搅拌均匀，称试样5g，数量不得少于两份，将试样倒入底面铺湿滤纸的坩埚内。

2 将坩埚置于盛有纯水的盆内，水深应高出试样表面，静置8~10h，当试样表面出现自由水时，表示试样已饱和，再将装有试样的坩埚放入保湿缸内静置，时间不应少于2h。

3 取出坩埚，吸去试样表面的自由水，放入离心机枢轴杯中，将成对的坩埚放在离心机的对称位置上。将离心机调至预定的转速，该转速应使试样重心处经受1000倍重力的离心力，旋转1h，再减小转速，使离心机在5min内停止转动。

4 试验结束，取出坩埚，称坩埚和湿土的总质量。

5 将坩埚置于烘箱内，在105~110℃温度下烘干，称坩埚和干土的总质量。

注：试验后，当试样顶部出现自由水时，表示试样有积水作用，应该将水分算入湿土质量，但必须在记录中加以说明。

35.0.4 土的离心含水当量，应按下列式计算，准确至0.1%。

$$c_{me} = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100 \quad (35.0.4)$$

式中 c_{me} ——离心含水当量(%)；
 m_a ——离心后坩埚和湿土总质量(g)；
 m_b ——烘干后坩埚和干土总质量(g)；
 m_c ——坩埚质量(g)。

35.0.5 土的离心含水当量试验成对试样所测得的两个含水当量的平行差值，应符合下列规定：离心含水当量小于、等于15%时，平行差值不大于1%；离心含水当量大于15%时，平行差值不大于2%。

35.0.6 离心含水当量试验记录格式见附录D表D—58。

附录A 试验资料的整理与试验报告

A.0.1 为使试验资料可靠和适用，应进行正确的数据分析和整理。整理时对试验资料

中明显不合理的数据，应通过研究，分析原因(试样是否具有代表性、试验过程中是否出现异常情况)或在有条件时，进行一定的补充试验后，可决定对可疑数据的取舍或改正。

A.0.2 舍弃试验数据时，应根据误差分析或概率的概念，按三倍标准差(即 $\pm 3s$)作为舍弃标准，即在资料分析中应该舍弃那些在 $\bar{x} \pm 3s$ 范围以外的测定值，然后重新计算整理。

A.0.3 土工试验测得的土性指标，可按其在工程设计中的实际作用分为一般特性指标和主要计算指标。前者如土的天然密度、天然含水率、土粒比重、颗粒组成、液限、塑限、有机质、水溶盐等，系指作为对土分类定名和阐明其物理化学特性的土性指标；后者如土的粘聚力、内摩擦角、压缩系数、变形模量、渗透系数等，系指在设计计算中直接用以确定土体的强度、变形和稳定性等力学性的土性指标。

A.0.4 对一般特性指标的成果整理，通常可采用多次测定值 x_i 的算术平均值 \bar{x} ，并计算出相应的标准差 s 和变异系数 c_v ，以反映实际测定值对算术平均值的变化程度，从而判别其采用算术平均值时的可靠性。

1 算术平均值 \bar{x} 按下式计算：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{A.0.4-1})$$

式中 $\sum_{i=1}^n x_i$ —— 指标测定值的总和；

n —— 指标测定的总次数。

2 标准差 s 按下式计算：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{A.0.4-2})$$

3 变异系数 C_v 按下式计算，并按表A.0.4评价变异性。

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (\text{A.0.4-3})$$

表A.0.4 变异性评价

变异系数	$C_v < 0.1$	$0.1 \leq C_v < 0.2$	$0.2 \leq C_v < 0.3$	$0.3 \leq C_v < 0.4$	$C_v \geq 0.4$
变异性	很好	小	中等	大	很大

A.0.5 对于主要计算指标的成果整理，如果测定的组数较多，此时指标的最佳值接近于诸测值的算术平均值，仍可按一般特性指标的方法确定其设计计算值，即采用算术平均值。但通常由于试验的数据较少，考虑到测定误差、土体本身不均匀性和施工质量的影响等，为安全考虑，对初步设计和次要建筑物宜采用标准差平均值，即对算术平均值加(或减)一个标准差的绝对值($\bar{x} \pm |s|$)。

A.0.6 对不同应力条件下测得的某种指标(如抗剪强度等)应经过综合整理求取。在有些情况下，尚需求出不同土体单元综合使用时的计算指标。这种综合性的土性指标，一般采用图解法或最小二乘方分析法确定。

1 图解法：将不同应力条件下测得的指标值(如抗剪强度)求得算术平均值，然后以不同应力为横坐标，指标平均值为纵坐标作图，并求得关系曲线，确定其参数(如土的粘聚力 C 和角摩擦系数 $\text{tg } \phi$)。

2 最小二乘法分析：根据各测定值同关系曲线的偏差的平方和为最小的原理求取参数值。

3 当设计计算几个土体单元土性参数的综合值时，可按土体单元在设计计算中的实际影响，采用加权平均值，即：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (\text{A.0.6})$$

式中 x_i ——不同土体单元的计算指标；

w_i ——不同土体单元的对应权。

A.0.7 试验报告的编写和审核应符合下列要求：

1 试验报告所依据的试验数据，应进行整理、检查、分析，经确定无误后方可采用。

2 试验报告所提供的依据，一般应包括根据不同建筑物的设计和施工的具体要求所拟试验的全部土性指标。

3 试验报告的内容应包括：试验方案的简要说明(工程概况，所需解决的问题以及由此对试样的采制，试验项目和试验条件提出的要求)，试验数据和基本结论。

4 试验报告中一律采用国家颁布的法定计量单位。

5 试验报告应按以下方面审查：

1)对照委托任务书，检查试验项目是否齐全。

2)检查试验项目是否按照试验方法标准进行。

3)综合分析检查各指标间的关系是否合理。

4)对需要进行数据统计分析的试验报告应检查选用的方法是否合理，结果是否正确。

5)检查土的定义是否与相关规范标准相符。

6 试验报告审批应符合以下程序：

1)由试验人员填写成果汇总表。

2)经校核人员校核汇总表中的数据。

3)由试验负责人编写试验报告。

4)由技术负责人签字并盖章发送。

附录B 土样的要求与管理

B.0.1 采样数量应满足要求进行的试验项目和试验方法的需要，采样的数量按表B.0.1规定采取，并应附取土记录及土样现场描述。

B.0.2 土样的验收和管理。

1 土样送达试验单位，必须附送样单及试验委托书或其他有关资料。送样单应有原始记录和编号。内容应包括工程名称，试坑或钻孔编号、高程、取土深度、取样日期。如原状土应有地下水位高程、土样现场鉴别和描述及定义、取土方法等。试验委托书应包括工程名称、工程项目、试验目的、试验项目、试验方法及要求。例如原状土进行力学性试验时，试样是在天然含水率状态下还是饱和状态下进行；剪切试验的仪器(三轴或直剪)；剪切试验方法(快剪、固快，不固结不排水，固结不排水等)；剪切和固结的最大荷重；渗透试验是垂直还是水平方向，求哪一级荷重或某一个干密度(孔隙比)下的固结系数或湿陷渗透系数；黄土压缩试验须提出设计荷重。扰动土样的力学性试验要提出初步设计干密度和施工现场可能达到的平均含水率等。

表B.0.1 试验取样数量和过土筛标准

土 土类 试验 样 项目 数量	粘 土		砂 土		过筛 标准 (mm)
	原状土(筒) 10cm×20cm	扰动土 (g)	原状土(筒) 10cm×20cm	扰动土 (g)	
含水率		800		500	
比 重		800		500	
颗粒分析		800		500	
界限含水率		500			0.5
密 度	1		1		
固 结	1	2000			2.0
黄土湿陷	1				
三轴压缩	2	5000		5000	2.0
膨胀、收缩	2	2000		8000	2.0
直接剪切	1	2000			2.0
击 实 承载比		轻型 > 15000 重型 > 30000			5.0
无侧限抗压强度	1				
反复直剪	1	2000			2.0
相对密度				2000	
渗 透	1	1000		2000	2.0
化学分析		300			2.0
离心含水当量		300			0.5

2 试验单位接到土样后，应按试验委托书验收。验收中需查明土样数量是否有误，编号是否相符，所送土样是否满足试验项目和试验方法的要求。必要时可抽验土样质量，验收后登记，编号。登记内容应包括：工程名称、委托单位、送样日期、土样室内编号和野外编号、取土地点和取土深度、试验项目的要求以及要求提出成果的时间等。

3 土样送交试验单位验收、登记后，即将土样按顺序妥善存放，应将原状土样和保持天然含水率的扰动土样置于阴凉的地方，尽量防止扰动和水分蒸发。土样从取样之日起至开始试验的时间不应超过3周。

4 土样经过试验之后，余土应贮存于适当容器内，并标记工程名称及室内土样编号，妥善保管，以备审核试验成果之用。一般保存到试验报告提出3个月以后，委托单位对试验报告未提出任何疑义时，方可处理。

5 处理试验余土时要考虑余土对环境的污染、卫生等要求。

附录C 室内土工仪器通用要求

C.0.1 本标准适用于室内土工仪器，规定试验仪器的通用要求，以保证试验数据的准确可靠。

C.0.2 室内土工仪器设备的通用要求。

1 室内土工仪器的基本参数应能满足各类土性指标试验的要求，各类试验所用仪器的参数应符合现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T15406第一篇之4的规定。

2 室内土工仪器应具备预计使用所要求的计量特性(如准确度、稳定度、量程及分辨力等)，基本特性要求可按国家标准GB/T15406第一篇之5.5的规定选用。

3 室内土工仪器的结构、材料、工作环境应满足GB/T15406第一篇之5.2、5.3和5.4

规定的要求。

C.0.3 室内土工仪器的准确度和校准。

1 各类室内土工仪器的准确度应符合GB/T15406第一篇之5.5.1、5.6.2及该标准附录《土工室内主要仪器准确度表》规定的要求。

2 仪器中配备计量标准器具时，应按规定的检定周期送交有计量检定能力的单位检定。

3 所有室内土工仪器使用前应按有关校验规程进行校准。

4 对专用性强、结构和原理较复杂的仪器，尚未制订计量检定规程和校验方法的，可按《国家计量检定规程编写规则》的要求编写校验方法，按程序审批后进行仪器校验。

C.0.4 不合格仪器及处理方法。

1 不合格仪器系指已经损坏；过载或误动作；工作不正常；功能出现可疑；超过规定的确认间隔时间；铅封完整性被破坏。

2 凡不合格的仪器应停止使用，隔离存放，作出明显的标记。

3 不合格的仪器应作以下处理：

1)仪器不准确或有其他故障时，应先进行调整，仔细检查或修理，再经检定或校验合格后重新投入使用。

2)对不能调整或修复的仪器，应报废。

3)对具有多功能和多量程的仪器，经证实能在一种或多种功能或量程内正常使用时，应标明限制使用的范围，可在规定的正常功能和量程内使用。

C.0.5 仪器设备管理应符合以下要求：

1 编制仪器设备一览表，其内容为：仪器名称、技术指标、制造厂家、购置日期、保管人。

2 编制仪器设备检定(校验)周期表，其内容包括：仪器设备名称、编号、检定周期、检定单位、最近检定日期、送检负责人。

3 所有仪器设备应有统一格式的标志。

1)标志分“合格”“准用”“停用”3种，分别以绿、黄、红3种颜色表示。

2)标志内容：仪器编号、检定结论、检定日期、检定单位。

3)可拆卸的检测仪表组合成的仪器，每个仪表应有独立的标志；不可拆卸仪表组合成的仪器，可以只有一个标志。

4 仪器说明书应妥善保存，并能方便使用。

5 建立仪器档案，其内容为：使用记录、故障及维修情况记录。

附录D 各项试验记录

表D-1 含水率试验记录

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样 编号	盒 号	盒质量 (g)	盒加湿 土质量 (g)	盒加干 土质量 (g)	湿土质 量(g)	干土质 量(g)	含水率 (%)	平均含 水率 (%)

表D-2 密度试验记录(环刀法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样 编号	环 刀 号	湿土 质量 (g)	试样 体积 (cm ³)	湿密度 (g/cm ³)	试样含水 率(%)	干密度 (g/cm ³)	平均干 密度 (g/cm ³)

表D-3 密度试验记录(蜡封法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	试样质量 (g)	蜡封试样质量 (g)	蜡封试样水中质量 (g)	温度 ()	纯水在T时的密度 (g/cm ³)	蜡封试样体积 (cm ³)	蜡体积 (cm ³)	试样体积 (cm ³)	湿密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	干密度 (g/cm ³)	平均干密度 (g/cm ³)
	(1)	(2)	(3)		(4)	(5) = $\frac{(2)-(3)}{(4)}$	(6) = $\frac{(2)-(1)}{n}$	(7) = (5) - (6)	(8) = $\frac{(1)}{(7)}$	(9)	(10) = $\frac{(8)}{1 + 0.01(9)}$	

表D-4 密度试验记录(灌水法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试坑编号	储水筒水位 (cm)		储水筒断面积 (cm ²)	试坑体积 (cm ³)	试样质量 (g)	湿密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	干密度 (g/cm ³)	试样重度 (KN/cm ³)
	初始	终了							
	(1)	(2)	(3)	(4) = [(2) - (1)] × (3)	(5)	(6) = $\frac{(5)}{(6)}$	(7)	(8) = $\frac{(6)}{1 + 0.01(7)}$	(9) = 9.81 × (8)

表D-5 密度试验记录(灌砂法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试坑编号	量砂容器质量加原有量砂质量(g)	量砂容器质量加剩余量砂质量(g)	试坑用砂质量(g)	量砂密度(g/cm ³)	试坑体积(cm ³)	试样加容器质量(g)	容器质量(g)	试样质量(g)	试样密度(g/cm ³)	试样含水率(%)	试样干密度(g/ m ³)	试样重度(KN/ccm ³)
	(1)	(2)	(3)=(1)-(2)	(4)	(5)= $\frac{(3)}{(4)}$	(6)	(5)	(8)=(6)-(7)	(9)= $\frac{(8)}{(5)}$	(10)	(11)= $\frac{(9)}{1+0.01(10)}$	(12)=9.81 × (9)

表D-6 比重试验记录(比重瓶法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	比重瓶号	温度()	液体比重查表	比重瓶质量(g)	干土质量(g)	瓶加液体质量(g)	瓶加液体加干土总质量(g)	与干土同体积的液体质量(g)	比重	平均值
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(4)+(5)-(6)	(8)= $\frac{(4)}{(7)} \times (2)$	(8)

表D-7 比重试验记录(浮称法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	铁丝筐号	温度 ()	水的比重查表	干土质量 (g)	铁丝筐加试样水中质量 (g)	铁丝筐在水中质量 (g)	试样在水中质量(g)	比重	平均值
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(4) - (5)	$(7) = \frac{(3) + (4)}{(3) - (6)}$	(8)

表D-8 比重试验记录(虹吸筒法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	温度 ()	水的比重查表	烘干土质量 (g)	晾干质量(g)	量筒加排开水质量(g)	量筒质量 (g)	排开水质量(g)	吸着水质量(g)	比重	平均值
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(5) - (6)	(8)=(4) - (3)	$(9) = \frac{(3) \times (2)}{(7) - (9)}$	(10)

表D-9 颗粒大小分析试验记录(筛析法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 土样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

风干土质量= _____ g 小于0.075mm的土占总土质量百分数= _____ %
 2mm筛上土质量= _____ g 小于2mm的土占总土质量百分数 d_x = _____ %
 2mm筛下土质量= _____ g 细筛分析时所取试样质量= _____ g

筛号	孔径 (mm)	累积留筛土 质量 (g)	小于该孔径 的土质量(g)	小于该孔径 的土质量百 分数(%)	小于该孔径 的总土质量 百分数(%)
底盘总计					

表D-10 颗粒分析试验记录(密度计法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 土样编号 _____ 风干土质量 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 干土总质量 _____ 校核者 _____

小于0.075mm颗粒土质量百分数 _____ 密度计号 _____
 湿土质量 _____ 量筒号 _____
 含水率 _____ 烧瓶号 _____
 干土质量 _____ 土粒比重 _____
 含盐量 _____ 比重校正值 _____
 试样处理说明 _____ 弯液面校正值 _____

试验 时间	下沉 时间 t (min)	悬液 温度 T ()	密度计读数				土粒落 距 L (cm)	粒径 d (mm)	小于某 粒径的 土质量 百分数 (%)	小于某 粒径的 总土质 量百分 数 (%)
			密度计 读数 (R)	温 度 校正 值 (m)	分散剂 校正 值 (C_D)	$R_M=R+m+n-C_D$				

表D-11 颗粒分析试验记录(移液管法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 土样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

< 2mm颗粒土质量百分数 _____ 三角烧瓶号 _____
 < 0.075mm颗粒土质量百分数 _____ 烧杯号 _____
 试样干质量 m_d _____ g 量筒号 _____
 土粒比重(G_s) _____ 吸管体积 _____ mL

粒径 (mm)	杯号	杯加土 质量 (g)	杯质量 (g)	吸管内质量 (g)	1000mL量筒 内土质量(g)	小于某粒径 土质量百分 数(%)	小于某粒径 土占总土质 量百分数(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)= (3)-(4)	(6)	(7)	(8)
< 0.05							
< 0.01							
< 0.005							

表D-12 界限含水率试验记录(液、塑限联合测定法)

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样 编号	圆锥下 沉深度 (mm)	盒 号	湿土质量 (g)	干土质量 (g)	含水率(%)	液限 (%)	塑限 (%)	塑性指数
			(1)	(2)	(3)= $[\frac{(1)}{(2)} - 1] \times 100$	(4)	(5)	(6)= (4)-(5)

表D-13 碟式仪液限试验记录

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样 编号	击数	盒 号	湿土质量 (g)	干土质量 (g)	含水率(%)	液限 (%)
			(1)	(2)	(3)= $[\frac{(1)}{(2)} - 1] \times 100$	(4)

表D-14 搓条法塑限试验记录

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	盒号	湿土质量 (g)	干土质量 (g)	含水率 (%)	塑限 (%)
		(1)	(2)	$(3) = [\frac{(1)}{(2)} - 1] \times 100$	(4)

表D-15 收缩皿法缩限记录

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	收缩皿号	湿土质量 (g)	干土质量 (g)	含水率 (%)	湿土体积 (cm ³)	干土体积 (cm ³)	缩限指数 (%)	平均值
		(1)	(2)	$(3) = [\frac{(1)}{(2)} - 1] \times 100$	(4)	(5)	$(6) = (3) - [\frac{(4) - (5)}{(2)}] \times 100$	(7)

表D-16 相对密度试验记录

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

	试验项目	最小干密度		最大干密度		备注
	试验方法	漏斗法		振击法		
试样质量(g)						
试样体积(cm ³)	(1)					
干密度(g/cm ³)	(2)					
平均干密度(g/cm ³)	(3)					
土粒比重	(4)					
天然干密度(g/cm ³)	(d)					
相对密度	$(7) = \frac{(d - \min)_{\max}}{(\min - \min) d}$					

表D-17 击实试验记录

工程名称 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试验序号	预估最优含水率 _____ %		风干含水率 _____ %		试验类别 _____						
	筒加试样质量(g)	筒质量(g)	试样质量(g)	筒体积(cm ³)	湿密度(g/cm ³)	干密度(g/cm ³)	盒号	湿土质量(g)	干土质量(g)	含水率(%)	平均含水率(%)
	(1)	(2)	(3)=(1)-(2)	(4)	(5)= (3)/(4)	(6)= $\frac{(5)}{(1) + 0.01 (10)}$		(7)	(8)	(9)= $[\frac{(7)}{(8)} - 1] \times 100$	(10)

表D-18 CBR试验记录(膨胀量)

工程名称 _____ 试验者 _____
 试样筒体积 _____ cm³ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

	试样编号	(1)	1	2	3
	试样筒编号	(2)			
含水率	盒加湿土质量(g)	(3)			
	盒加干土质量(g)	(4)			
	盒质量(g)	(5)			
	含水率(%)	$(6) = \left[\frac{(3)-(5)}{(4)-(5)} - 1 \right] \times 100$			
	平均含水率(%)	(7)			
密度	筒加试样质量(g)	(8)			
	筒质量(g)	(9)			
	湿密度(g/cm ³)	$(10) = \frac{(8) - (9)}{V}$			
	干密度(g/cm ³)	$(11) = \frac{(10)}{1 + 0.01(7)}$			
	干密度平均值(g/cm ³)	(12)			
膨胀比	浸水前试样高度(mm)	(13)			
	浸水后试样高度(mm)	(14)			
	膨胀比(%)	$(15) = \frac{(14) - (13)}{(13)} \times 100$			
	膨胀量平均值(%)	(16)			
吸水	浸水后筒加试样质量(g)	(17)			
	吸水量(g)	$(18) = (17) - (8)$			
	吸水量平均值(g)	(19)			

表D-19 CBR试验记录(贯入)

工程名称 _____
 试样制备方法 _____
 试样状态 _____
 试样最大粒径 _____ mm

浸水条件 _____
 荷载板质量 _____ g
 贯入速度 _____ mm/min
 测力计率定系数 C= _____ kPa/0.01mm

击 次 _____
 试 验 者 _____
 试验日期 _____
 校 核 者 _____

试件编号	量表 读数 (0.01mm)	量表 读数 (0.01mm)	平均读数 (0.01mm)	测力计读数 (0.01mm)	荷载强度 (kPa)	量表 读数 (0.01mm)	平均读数 (0.01mm)	测力计读数 (0.01mm)	荷载强度 (kPa)	量表 读数 (0.01mm)	平均读数 (0.01mm)	测力计读数 (0.01mm)	荷载强度 (kPa)
	(1)	(2)	$(3)=\frac{1}{2}[(1)+(2)]$	(4)	$(5)=\frac{(4)\bullet c}{A}$	(2)	$(3)=\frac{1}{2}[(1)+(2)]$	(4)	$(5)=\frac{(4)\bullet c}{A}$	(2)	$(3)=\frac{1}{2}[(1)+(2)]$	(4)	$(5)=\frac{(4)\bullet c}{A}$
贯入量	0												
	50												
	100												
	150												
	200												
	250												
	300												
	400												
	500												
	750												
1000													
CBR _{2.5} (%)													
CBR _{5.0} (%)													
CBR(%)													
平均CBR(%)													

注：表中公式A为试样面积

表D-20 回弹模量试验记录

工程名称 _____ 试验日期 _____
 试样编号 _____ 仪器编号 _____
 土样分类 _____ 试验者 _____
 试验方法 _____ 校核者 _____

加载级数	单位压力 (kPa)	砝码重力(N) 或测力计读数(0.01mm)	量表读数(0.001mm)						回弹变形 (0.1mm)		回弹模量 (kPa)
			加载			卸载			读数值	修正值	
			左	右	平均	左	右	平均			

表D-21 常水头渗透试验记录

工程编号 _____
 试样编号 _____
 试验日期 _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

试验次数	经过时间 (s)	测压管水位 (cm)			水位差			水力坡降	渗水量 (cm)	渗透系数 (cm/s)	水温 ()	校正系数	水温20 时的渗透系数 (cm/s)	平均渗透系数 (cm/s)
					H ₁	H ₂	平均							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)-(3)	(6)=(3)-(4)	(7)= $\frac{(5)+(6)}{2}$	(8)= $\frac{1}{(7) \cdot L}$	(9)	(10)= $\frac{(9)}{A \times (8) \times (1)}$	(11)	(12) = $\frac{r}{20}$	(13) = (10) × (12)	(14)	

表D-22 变水头渗透试验记录

工程名称 _____
 试样编号 _____
 仪器编号 _____
 试验日期 _____

试样面积(A) _____
 试样高度(L) _____
 测压管断面积(a) _____
 孔隙比(e) _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

开始时间 t ₁ (s)	终了时间 t ₂ (s)	经过时间 t(s)	开始水头 H ₁ (cm)	终了水头 H ₂ (cm)	$2.3 \frac{a \times L}{A \times (3)}$	$l_s \frac{H_1}{H_2}$	T 时间渗透系数 (cm/s)	水温 ()	校准系数	水温20 时的渗透系数 (cm/s)	平均渗透系数 (cm/s)
(1)	(2)	(3)=(2)-(1)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) = (6) × (7)	(9)	(10) = $\frac{r}{20}$	(11) = (8) × (10)	(12)

表D-23(1) 固结试验记录(1)

工程编号 _____ 试样面积 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 土粒比重 G_s _____ 计算者 _____
 仪器编号 _____ 试验前试样高度 h_0 _____ mm 校核者 _____
 试验日期 _____ 试验前孔隙比 e_0 _____

含水率试验

	盒号	湿土质量(g)	干土质量(g)	含水率 (%)	平均含水率 (%)
试验前					
试验后					

密度试验

环刀号	湿土质量(g)	环刀容积 (cm ³)	湿密度 (g/cm ³)

加压历时 (h)	压力 (MPa)	试样变形量 (mm)	压缩后试样高度 (mm)	孔隙比	压缩系数 (Mpa ⁻¹)	压缩模量 (MPa)	固结系数 (cm ² /s)
	P	$\sum \Delta h_f$	$h = h_0 - \sum \Delta h_f$	$e_f = e_0 - \frac{1+e_0}{h_0} \sum \Delta h_f$	$v = \frac{e_f - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_s}$	$E_s = \frac{1+e_0}{a_v}$	$C_v = \frac{T_v \bar{h}^{-2}}{t}$
24							

表D-23(2) 固结试验记录(2)

工程编号 _____
 试样编号 _____
 仪器编号 _____
 试验日期 _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

经过时 间(min)	MPa		MPa		MPa		MPa		MPa	
	时间	变形 读数	时间	变形 读数	时间	变形 读数	时间	变形 读数	时间	变形 读数
0										
0.1										
0.25										
1										
2.25										
4										
6.25										
9										
12.25										
16										
20.25										
25										
30.25										
36										
42.25										
49										
64										
100										
200										
23(h)										
24(h)										
总变形量(mm)										
仪器变形量(mm)										
试样总变形量(mm)										

表D-24 应变控制加荷固结试验记录

工程名称 _____
 土样编号 _____
 试验日期 _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

试样初始高度 $h_0=$ (mm) 试样初始孔隙比 $e_0=$ 试样面积 $A=$ (cm ²)				应变速率：(%/s) 负荷传感器系数： 孔压传感器系数：					
经过时间 t(min)	轴向变形 h (0.01mm)	应变 (%)	t时孔隙比 e_i	负荷传感器读数	轴向负荷 P (kN)	轴向压力 (MPa)	孔压传感器读数	孔隙压力 U_b (MPa)	轴向有效压力 (MPa)
(1)	(2)	(3) = (2) / h_0	(4) = $e_0 - (1 - e_0) \cdot (3)$	(5)	(6) = (5) • a	(7) = (6) / A	(8)	(9) = (8) •	(10) = (7) - (9)

表D-25 黄土湿陷试验记录

工程编号 _____
 试样编号 _____
 仪器编号 _____
 试验方法 _____

试样含水率 _____
 试样密度 _____
 土粒比重 _____
 试样初始高度 _____ mm

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

压力(kPa) 变形 读数(mm)											浸水湿陷		浸水溶滤	
	时间	读数	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														
	自重湿陷系数 $z_s = \frac{h_z - h'_z}{h_0}$						湿陷变形系数 $s = \frac{h_1 - h_2}{h_0}$				溶滤变形系数 $w_t = \frac{h_2 - h_3}{h_0}$			

表D-26 黄土湿陷性试验记录(自重湿陷系数)

工程编号 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号：_____				环刀号：_____						
仪器号：_____				试样初始高度：_____ (mm)						
饱和自重压力计算							试验测试			
层数	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	比重	孔隙度 (%)	饱和度 (g/cm ³)	层厚 (m)	土层自重 (kPa)	经过 时间 (min)	百分表读数(mm)	
									自重压力 (kPa)	浸水
	(1)	(2)	(3)	(4) = $1 - \frac{(1)}{(3) \times \{1 + (2)\}}$	(5) = $\frac{(1)}{1 + (2)} + 0.85 \times (4)$	(6)	(7) = $9.81 \times (6) \times (5)$			
								稳定 读数		
自重压力(kPa) (7)								自重湿陷系数		

表D-27 黄土湿陷性试验记录(湿陷起始压力)

工程编号 _____
 试样编号 _____
 试验日期 _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

试样编号：		环刀号：		试样初始高度： (mm)				环刀号：		试样初始高度： (mm)				
经过时间 (min)	天然状态							浸水状态						
	仪器号：							仪器号：						
	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														

表D-28 不固结不排水剪三轴试验记录

工程编号 _____
 试样编号 _____
 试验日期 _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

(1) 含水率

盒号			
湿土质量(g)			
干土质量(g)			
含水率(%)			
平均含水率(%)			

试样 草图	
----------	--

(2) 密度

试样面积(cm ²)	
试样高度(cm)	
试样体积(cm ³)	
试样质量(g)	
密度(g/cm ³)	

试样 破坏 描述	
----------------	--

钢环系数____
 N/0.01mm
 剪切速率__mm/min
 周围压力__kPa

(3) 不排水量

轴向变形 (0.01mm)	轴向应变 (%)	校正面积 $\frac{A_0}{1-}$ (cm ²)	钢环读数 (0.01mm)	₁₋₃ (kPa)

表D-29 固结不排水剪三轴试验记录

工程编号_____

试验者_____

试样编号_____

计算者_____

试验日期_____

校核者_____

(1) 含水率

	试验前		试验后	
盒号				
湿土质量(g)				
干土质量(g)				
含水率(%)				
平均含水率(%)				

(2) 密度

试样高度(cm)		
试样体积(cm ³)		
试样质量(g)		
密度(g/cm ³)		
试样草图		
试样破坏描述		
备注		

(3) 反压力饱和

周围压力(kPa)	反压力(kPa)	孔隙水压力(kPa)	孔隙压力增量(kPa)

(4) 固结排水

周围压力____kPa 反压力____kPa 孔隙水压力____kPa

经过时间(h min s)	孔隙水压力(kPa)	量管读数(mL)	排出水量(mL)

(5) 不排水剪切

钢环系数____N/0.01mm 剪切速率____mm/min 周围压力____kPa

反压力____kPa 初始孔隙压力____kPa 温度____

轴向变形 (0.01mm)	轴向应变 (%)	校正面积 $\frac{A_0}{1-}$ (cm ²)	钢环 读数 (0.01mm)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	孔隙 压力 (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_3 (kPa)	$\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}$	$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}$ (kPa)	$\frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$ (kPa)

表D-30 固结排水剪三轴试验记录

工程编号_____

试验者_____

试样编号_____

计算者_____

试验日期_____

校核者_____

(1)含水率

	试验前		试验后	
盒号				
湿土质量(g)				
干土质量(g)				
含水率(%)				
平均含水率(%)				

(2)密度

	试验前		试验后	
试样面积(cm ²)				
试样高度(cm)				
试样体积(cm ³)				
试样质量(g)				
密度(g/cm ³)				
试样草图				
试样破坏描述				
备注				

(3)反压力饱和

周围压力(kPa)	反压力(kPa)	孔隙水压力(kPa)	孔隙压力增量(kPa)

(4)固结排水 周围压力____kPa 反压力____kPa 孔隙水压力____kPa

经过时间(h min s)	孔隙水压力(kPa)	量管读数(mL)	排出水量(mL)

(5)不排水剪切

钢环系数____N/0.01mm 剪切速率____mm/min 周围压力____kPa

反压力____kPa 初始孔隙压力____kPa 温度____

轴向 变形 0.01mm	轴向 应变 a (%)	校正 面积 $\frac{V_c - \Delta V_i}{h_c - \Delta h_i}$ (cm ²)	钢环 读数 0.01mm	主应力差 $\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	比值 $\frac{a}{1 - 3}$	量管读 数 (cm ³)	剪切排 水量 (cm ³)	体应变 $v = \frac{\Delta V}{V_c}$ (%)	径向应变 $r = \frac{v - a}{2}$ (%)	比值 $\frac{r}{a}$	应力 比 $\frac{1}{3}$

表D-31 无侧限抗压强度试验记录

工程编号_____ 试验者_____

试样编号_____ 计算者_____

试验日期_____ 校核者_____

试样初始高度 h_0 _____ cm		量力环率定系数 $c =$ _____ N/0.01mm			
试样直径 D _____ cm		原状试样无侧限抗压强度 $q_u =$ _____ kPa			
试样面积 A_0 _____ cm ²		重塑试样无侧限抗压强度 $q'_u =$ _____ kPa			
试样质量 m _____ g		灵敏度 $S_l =$ _____			
试样密度 _____ g/cm ³					
轴向变形 (mm)	量力环读数 (0.01mm)	轴向应变 (%)	校正面积 (cm ²)	轴向应力 (kPa)	试样破坏描述
(1)	(2)	$(3) = \frac{(1)}{h_0} 100$	$(4) = \frac{A_0}{1 - (3)}$	$(5) = \frac{(2) \cdot C}{(4)} \times 10$	

表D-32 直剪试验记录

工程编号_____ 试验者_____

试样编号_____ 计算者_____

试验方法_____ 校核者_____

试验日期_____

仪器编号	(1)	(2)	(3)	(4)
盒号				
湿土质量(g)				
干土质量(g)				
含水率(%)				
量力环系数 (kPa/0.01mm)				
试样质量(g)				
试样密度(g/cm ³)				
垂直压力(kPa)				
固结沉降量 (mm)				

剪切位移 (0.01mm)	量力环读数 (0.01mm)	剪应力 (kPa)	垂直位移 (0.01mm)
(1)	(2)	$(3) = \frac{C \cdot (2)}{A_0}$	(4)

表D-33 反复直剪试验记录

工程编号 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

仪器编号	(1)	(2)	(3)	(4)
盒号				
湿土质量(g)				
干土质量(g)				
含水率(%)				
测力计系数 (kPa/0.01mm)				
试样质量(g)				
试样密度(g/cm ³)				
垂直压力(kPa)				
固结沉降量(mm)				

剪切位移 (0.01mm)	测力计读数 (0.01mm)	剪应力 (kPa)	垂直位移 (0.01mm)

表D-34 自由膨胀率试验记录

工程编号 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样 编号	干土质 量(g)	量筒 编号	不同时间(h)体积读数(mL)					自由膨胀率 (%)
			2	4	6	8	10	

表D-35 有荷载膨胀率试验记录

工程编号 _____
 试样编号 _____
 仪器编号 _____
 试验日期 _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

试验状态				膨胀量测定			
项目		试验前	试验后	测定时间 (d h min)	经过时间 (d h min)	量表读数 (0.01mm)	膨胀率 (%)
环刀编号							
环刀加湿 土质量 (g)	(1)						
环刀加干 土质量 (g)	(2)						
环刀质量 (g)	(3)						
湿土质量 (g)	(4)	(1) - (3)	(1) - (3)				
干土质量 (g)	(5)		(2) - (3)				
含水率 (%)	(6)	$[\frac{(4)}{(5)} - 1] \times 100$	$[\frac{(4)}{(5)} - 1] \times 100$				
试样体积 (cm ³)	(7)	V_1	$V_1(1 + V_h)$				
试样密度 (g/cm ³)	(8)	$\frac{(4)}{(7)}$	$\frac{(4)}{(7)}$				
干密度 (g/cm ³)	(9)	$\frac{(5)}{(7)}$	$\frac{(5)}{(7)}$				
土粒比重	(10)						
孔隙比	(11)	$\frac{(10)}{(9)} - 1$					

表D-36 膨胀力试验记录

工程编号 _____
 试样编号 _____
 仪器编号 _____
 试验日期 _____

试验者 _____
 计算者 _____
 校核者 _____

试验状态				膨胀力测定			
项目		试验前	试验后	测定时间 (d h min)	平衡荷重 (N)	压力 (kPa)	仪器变形量 (0.01mm)
环刀编号							
环刀加湿 土质量(g)	(1)						
环刀加干 土质量(g)	(2)						
环刀质量 (g)	(3)						
湿土质量 (g)	(4)	(1) - (3)	(1) - (3)				
干土质量 (g)	(5)		(2) - (3)				
含水率(%)	(6)	$[\frac{(4)}{(5)} - 1] \times 100$	$[\frac{(4)}{(5)} - 1] \times 100$				
试样体积 (cm ³)	(7)	V_1	$V_1(1 + V_h)$				
试样密度 (g/cm ³)	(8)	$\frac{(4)}{(7)}$	$\frac{(4)}{(7)}$				
干密度 (g/cm ³)	(9)	$\frac{(5)}{(7)}$	$\frac{(5)}{(7)}$				
土粒比重	(10)						
孔隙比	(11)	$\frac{(10)}{(9)} - 1$					
备注							

表D-37 收缩试验记录

工程编号 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

时间 (d.h)	百分表读数 (0.01mm)	单向收缩 (mm)	线缩率 (%)	试样质量 (g)	水质量 (g)	含水率 (%)

表D-38 冻土密度试验记录(浮称法)

工程编号 _____ 试验者 _____
 钻孔编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样 编号	土样 描述	煤油温度 ()	煤油密度 (g/cm ³)	试样质量 (g)	试样在油 中的质量 (g)	试样体积 (cm ³)	密度 (g/cm ³)	平均值 (g/cm ³)

表D-39 冻土密度试验记录(联合测定法)

工程编号 _____ 试验者 _____
 钻孔编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样 编号	试样 质量	筒加水质 量(g)	筒加水加 试样质量 (g)	筒加水加 土粒质量 (g)	土粒比重	试样体积 (cm ³)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)

表D-40 冻土密度试验记录(充砂法)

工程编号 _____ 试验者 _____
 钻孔编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	测筒质量 (g)	试样质量 (g)	测筒加试样加量砂质量 (g)	量砂质量 (g)	量砂密度 (g/cm ³)	测筒容积 (cm ³)	试样体积 (cm ³)	冻土密度 (g/cm ³)

表D-41 冻结温度试验记录

工程编号 _____ 试验者 _____
 钻孔编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

热电偶编号：		热电偶系数			/ μV
序号	历时 (min)	电压表示值 (mV)	实际温度 ()	备注	

表D-42 未冻含水率试验记录

工程编号 _____ 试验者 _____
 钻孔编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

热电偶编号：		热电偶系数			/ μV	液限 _____ 塑限 _____
序号	历时 (min)	电压表示值 (mV)	实际温度 ()	备注		

表D-43 冻土导热系数试验记录

工程编号 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样含水率： _____ %		试样密度 _____ g/cm ³		石蜡导热系数0.279W/m·K	
序号	历时 (min)	石蜡样温差 ()	试样温差 ()	导热系数 [W/(m·K)]	备注

表D-44 冻胀量试验记录

工程编号 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样含水率： _____ %		试样密度 _____ g/cm ³					
序号	时间(h)	测温数字电压表读数(mV)					变形量(mm)

表D-45 pH试验记录(电测法)

工程编号 _____ 试验者 _____
 试样编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	土水比	试样悬液体积(mL)	PH测定值			
			1	2	3	4

表D-46 易溶盐总量试验记录

试样编号	土水比	称取风干试样质量 m_s (g)	风干试样含水率 (%)	浸出液用纯水体积 V_w (mL)	吸取浸出液体积 V_s (mL)	蒸发皿编号	蒸发皿质量 m_1 (g)	蒸发皿加残渣质量 m_2 (g)	计算	试验结果
									$\frac{(m_2 - m_1) \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s} \times 100$	易溶盐总量 W (%)

试验者

复核者

试验日期

表D-47(1) 碳酸根试验记录

试样编号	称取风干试样质量 m_s (g)	风干试样含水率 (%)	浸出液用纯水体积 V_w (mL)	吸取浸出液体积 V_s (mL)	标准溶液浓度 $c(H_2SO_4)$ (mol/L)	滴定 V_1 (mL)				计算	试验结果	
						自	至	耗	平均	$\frac{2V_1 c(H_2SO_4) \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s} \times 1000$	$b(CO_3^{2-})$ (mmol/kg 土)	CO_3^{2-} (%)

试验者

复核者

试验日期

表D-47(2) 重碳酸根试验记录

试样 编号	称取风干试 样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	浸出液用纯 水体积 V_w (mL)	吸取浸出液 体积 V_s (mL)	标准溶液浓 度 $c(H_2SO_4)$ (mol/L)	滴定 V_2 (mL)				计算	试验结果	
						自	至	耗	平均		$\frac{2V_1c(H_2SO_4)\frac{V_w}{V_s}(1+0.01)}{m_s} \times 1000$	$b(HCO_3^-)$ (m mol/kg±)
										$b(HCO_3^-) \times 0.061 \times 100$		

试验者

复核者

试验日期

表D-48 氯根试验记录

试样 编号	称取风干试 样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	浸出液用纯 水体积 V_w (mL)	吸取浸出液 体积 V_s (mL)	标准溶液浓 度 $c(AgNO_3)$ (mol/L)	滴定 V_2 (mL)				计算	试验结果	
						自	至	耗	平均		$\frac{(V_1 - V_2)c(AgNO_3)\frac{V_w}{V_s}(1+0.01)}{m_s} \times 1000$	$b(Cl^-)$ (m mol/kg±)
										$b(Cl^-) \times 0.0355 \times 100$		

试验者

复核者

试验日期

表D-49 SO_4^- 试验记录(EDTA法)

试样 编号	称取风干 试样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	浸出液用纯 水体积 V_w (mL)	吸取浸出 液体积 V_s (mL)	标准溶液 浓度 c(EDTA) (mol/L)	滴定 V_2				计算	试验结果		
						代号	自	至	耗		平均	$(V_3+V_2-V_1)c(EDTA)\frac{V_w}{V_s}(1+0.01)\times 1000$	$b(SO_4^{2-})$ (mmo l/kg±)
							(mL)			m_s $b(SO_4^{2-}\times 0.096\times 100)$			
						V_1							
						V_2							
						V_3							
						V_1							
						V_2							
						V_3							
						V_1							
						V_2							
						V_3							

试验者

复核者

试验日期

表D-50 SO_4^{2-} 试验记录(比浊法)

试样 编号	称取风干 试样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	浸出液用纯 水体积 V_w (mL)	吸取浸出 液体积 V_s (mL)	测 得 吸 光 值	查得相应含 SO_4^{2-} 量 $m(SO_4^{2-})$ (mg)	计算		试验结果	
							$SO_4^{2-} = \frac{m(SO_4^{2-}) \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s 10^3} \times 100$	$b(SO_4^{2-}) = (SO_4^{2-} / 0.096) \times 1000$	$b(SO_4^{2-})$ (mmol /kg±)	SO_4^{2-} (%)

试验者

复核者

试验日期

表D-51 钙离子试验记录

试样 编号	称取风干 试样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	浸出液用纯 水体积 V_w (mL)	吸取浸出 液体积 V_s (mL)	标准溶液 浓度 $c(\text{EDTA})$ (mol/L)	滴定				计算 $V(\text{EDTA})_c(\text{EDTA}) \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01 \quad) \times 100$ m_s $b(\text{Ca}^{2+}) \times 0.040 \times 100$	试验结果		
						代号	自	至	耗		平均	(mmol/k g±)	Ca^{2+} (%)
							(mL)						
						V_1							
						V_2							
						V_1							
						V_2							
						V_1							
						V_2							

试验者

复核者

试验日期

表D-52 镁离子试验记录

试样 编号	称取风干 试样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	浸出液用纯 水体积 V_W (mL)	吸取浸出 液体积 V_S (mL)	标准溶液 浓度 c(EDTA) (mol/L)	滴定				计算	试验结果		
						代号	自	至	耗		平均	$(V_1 - V_2)_c(EDTA) \frac{V_W}{V_S} (1 + 0.01) \times 1000$	$b(Mg^{2+})$ (mmol/kg ±)
							(mL)				m_s		
						V_1							
						V_2							
						V_1							
						V_2							
						V_1							
						V_2							

试验者

复核者

试验日期

表D-53 Ca²⁺、Mg²⁺试验记录(原子吸收法)

试样编号	称取风干试样质量 _s (g)	风干试样含水率 (%)	浸出液用纯水体积 V _w (mL)	吸取浸出液体积 V _s (mL)	测定时溶液定容体积 V _c (L)	测得吸收值		相应的浓度		计算	试验结果			
						Ca	Mg	(Ca ²⁺)	(Mg ²⁺)		钙离子		镁离子	
								(mg/L)		$\frac{B V_C \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s \times 10^3} \times 100$		b(Ca ²⁺)	Ca ²⁺	b(Mg ²⁺)
						(mmol/kg±)	(%)	(mmol/kg±)	(%)					

试验者

复核者

试验日期

表D-54 Na⁺、K⁺ 试验记录

试样 编号	称取风 干试样 质量 m_s (g)	风干试 样含水 率 (%)	浸出液 用纯水 体积 V_w (mL)	吸取浸 出液体 积 V_s (mL)	测定时 溶液定 容体积 V_c (L)	测得吸收 值		相应的浓度		计算	试验结果			
						Na ⁺	K ⁺	(Na ⁺)	(K ⁺)		$\frac{b V_c \frac{V_w}{V_s} (1 + 0.01)}{m_s \times 10^3} \times 100$	钠离子		钾离子
										(mg/L)		b(Na ⁺)	Na ⁺	b(K ⁺)
						(mmol/kg土)	(%)	(mmol/kg土)	(%)					

试验者

复核者

试验日期

表D-55 中溶盐(石膏)试验记录

试样 编号	称取风干 试样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	酸浸出液硫酸根含量 $m(SO_4^{2-})$ (g)				水浸出液硫 酸根含量 $W(SO_4^{2-})_w$ (%)	计算		试验结果	
			坩埚 号	坩埚 质量 (g)	坩埚 加沉 淀物 质量 (g)	沉淀 物质 量 (g)		$W(SO_4^{2-})_b = \frac{m(SO_4^{2-}) \times 0.4114 (1 + 0.01 \quad) \times 100}{m_s}$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O = [W(SO_4^{2-})_b - W(SO_4^{2-})_w] \times 1.7992$	石膏含量 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) (%)	平均 (%)

试验者

复核者

试验日期

表D-56 难溶盐(碳酸钙)试验记录

R=8310kPa ml/(mol.K)

M(CaCO₃)=100g/mol

试样编号	试样干质量m _d (g)	测得二氧化碳体积V(CO ₂) (ml)			试验时水温度		试验时大气压P (kPa)	计算	试验结果
		初读数	终读数	结果	摄氏度t ()	热力学度T (K)			
								$V(CO_2) = (CO_2) \times 227.2 / (m_d \times 10^6) \quad (1)$ $M(CaCO_3)n(CO_2) \times 100 / m_d \quad (2)$ $n(CO_2) = PV(CO_2) / RT$	CaCO ₃ (%)

试验者

复核者

试验日期

表D-57 有机质试验记录

试样 编号	称取风干 试样质量 m_s (g)	风干试样 含水率 (%)	标准溶液 $c(\text{FeSO}_4)$ (mol/L)	滴定				计算	试验结果
				$V(\text{Fe}^{2+})$	由	至	耗	$\frac{c(\text{Fe})\{V'(\text{Fe})-V(\text{Fe})\}(1+0.01)}{m_s} \times 0.5172$	有机质 O_m (%)
					(mL)				
				V'					
				V					
				V'					
				V					
				V'					
				V					
				V'					
				V					

试验者

复核者

试验日期

表D-58 离心含水当量试验记录

工程名称 _____ 试验者 _____
 工程编号 _____ 计算者 _____
 试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	坩埚号	坩埚质量 (g)	坩埚加湿土质量 (g)	坩埚加干土质量 (g)	湿土质量 (g)	干土质量 (g)	离心含水当量 (%)	平均离心含水当量 (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) - (2)	(6) = (4) - (2)	(7) = $[\frac{(5)}{(6)} - 1] \times 100$	(8)

本标准用词说明

1. 为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

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”。

2. 规范中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国国家标准

土工试验方法标准

GB/T 50123—1999

条文说明

1 总则

1.0.1 《土工试验方法标准》GBJ123—88(以下简称“原标准”)自1989年实施以来，已有7年多时间，在这期间，岩土工程有一定的发展，要求提供更多、更可靠的计算参数和判定指标，同时，测试技术也有进步，因此，有必要对原标准进行修改，使各系统的土工试验有一个能满足岩土工程发展需要的试验准则，使所有的试验及试验结果具有一致性和可比性。

1.0.2 水利、公路、铁路、冶金等系统均有相应的土工试验规程，基本内容与本标准相同，但有些试验方法使用条件不同，为此在一些具体的参数或规定上有特殊要求时，允许以相应的专业标准为依据。

1.0.3 现行国家标准《土的分类标准》GBJ145属专门分类标准，内容包括对土类进行鉴别，确定其名称和代号，并给以必要的描述。本标准中将土分成粗粒土和细粒土两大类。土的名称和具体分类按现行国家标准《土的分类标准》GBJ145确定。土的工程分类试验是土工试验的内容之一，故分类试验应遵照本标准有关试验项目中规定的方法和要求进行。

1.0.4 土工试验资料的分析整理，对提供准确可靠的土性指标是十分重要的。内容涉及成果整理、土性指标的选择，并计算相应的标准差、变异系数或绝对误差与精度指标等。根据误差分析，对不合理的数据进行研究、分析原因，或有条件时，进行一定的补充试验，以便决定对可疑数据的取舍或改正。为此，列入附录A。

1.0.5 土工试验所用的仪器应符合现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T15406规定。根据国家计量法的要求，土工试验所用的仪器、设备应定期检定或校验。对通用仪器设备，应按有关检定规程进行，对专用仪器设备可参照国家现行标准《土工试验专用仪器校验方法》SL110~118进行校验。

1.0.6 执行本标准过程中，有些要求应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ7、《湿陷性黄土地区建筑规范》GBJ25、《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112、《土的分类标准》GBJ 145和《岩土工程基本术语标准》GB/T 50275中的规定。

3 试样制备和饱和

3.1 试样制备

3.1.1 本标准所规定的试验方法，仅适用于颗粒粒径小于60mm的原状土和扰动土，对粒径等于、大于60mm的土应按有关粗粒料的试验方法进行。

3.1.2 原标准中第2.0.2至2.0.4条规定的试验所需土样的数量以及取土要求等列入附录B“土样的要求与管理”。

同一组试样间的均匀性主要表现在密度和含水率的均匀性方面，规定密度和含水率的允许差值，使试验结果的离散性减小，避免力学性指标之间相互矛盾的现象。

3.1.4 原状土试样制备过程中，应先对土样进行描述，了解土样的均匀程度、含夹杂质等情况后，才能保证物理性试验的试样和力学性试验所选用的试样一致，避免产生试验结果相互矛盾的现象，并作为统计分层的依据。

用环刀切取试样时，规定环刀必须垂直下压，因环刀不垂直切取的试样层次倾斜，与天然结构不符；其次，试样与环刀内壁之间容易产生间隙，切取试样时要防止扰动，否则均会影响测试结果。

3.1.5 扰动土试样备样过程中对含有机质的土样规定采用天然含水率状态下的代表性土样，供颗粒分析、界限含水率试验，因为这些土在105~110℃温度下烘干后，胶体颗粒和粘粒会胶结在一起，试验中影响分散，使测试结果有差异。

3.1.6 扰动土试样制备时所需的加水量要求均匀喷洒在土样上，润湿一昼夜，目的是使制备样含水率均匀，达到密度的差异小。击样法制备试样时，若分层击样，每层试样的密度也要均匀。

3.2 试样饱和

3.2.2 毛细管饱和法：原标准中选用叠式或框式饱和器，现修改成用框式饱和器，因为毛细管饱和，水面不宜将试样淹没，而叠式饱和器达不到该要求，否则上层试样浸不到水。

3.2.3 抽气饱和法：原标准中没有说明用何种饱和器，仅列出真空饱和装置，本次修改时，条文中明确规定采用叠式或框式饱和器。

4 含水率试验

4.0.1 原标准中为含水量试验，虽然名称通用，但与定义不符，根据现行国家标准《岩土工程基本术语标准》GB/T 50279的规定改成含水率试验。

土的含水率定义为试样在105~110℃温度下烘至恒量时所失去的水质量和达恒量后干土质量的比值，以百分数表示。

4.0.3 含水率试验方法有多种，但能确保质量，操作简便又符合含水率定义的试验方法仍以烘干法为主，故本标准规定以烘干法为标准方法。烘干温度采用105~110℃，这是因为取决于土的水理性质，以及目前国际上一些主要试验标准，例如美国ASTM、英国BS、日本JIS、德国DIN，烘干温度在100~115℃之间，且多数采用105~110℃为标准，故本标准用105~110℃。对含有机质超过干土质量5%的土，规定烘干温度为65~70℃，因为含有机质土在105~110℃温度下，经长时间烘干后，有机质特别是腐植酸会在烘干过程中逐渐分解而不断损失，使测得的含水率比实际的含水率大，土中有机质含量越高误差就越大。

试样烘干至恒量所需的时间与土的类别及取土数量有关。本标准取代表性试样15~30g，对粘土、粉土烘干时间不少于8h，是根据多年来比较试验而定的，对砂土不少于6h，由于砂土持水性差，颗粒大小相差悬殊，含水率易于变化，所以试样应多取一些，本标准规定取50g。采用环刀中试样测定含水率更具有代表性。

4.0.5、4.0.6 对层状和网状构造的冻土的含水率试验，因试样均匀程度所取试样数量

相差较大，且试验过程中需待冻土融化后进行，为此另列条说明。

4.0.7 对层状和网状构造的冻土含水率平行测定的允许误差因均匀性放宽至3%。

5 密度试验

5.1 环刀法

5.1.1 环刀法是测定土样密度的基本方法，本方法在测定试样密度的同时，可将试样用于固结和直剪试验。

5.1.2 环刀的尺寸是根据现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T15406的规定选用内径61.8mm和79.8mm，高20mm。

5.2 蜡封法

5.2.3 蜡封法密度试验中的蜡液温度，以蜡液达到熔点以后不出现气泡为准。蜡液温度过高，对土样的含水率和结构都会造成一定的影响，而温度过低，蜡溶解不均匀，不易封好蜡皮。

蜡封试样在水中的质量，与水的密度有关，水的密度随温度而变化，条文中规定测定水温的目的是为了消除因水密度变化而产生的影响。因各种蜡的密度不相同，试验前应测定石蜡的密度。

5.3 灌水法

5.3.3 灌水采用的塑料薄膜袋材料为聚氯乙烯，薄膜袋的尺寸应与试坑大小相适应。

开挖试坑时，坑壁和坑底应规则，试坑直径与深度只能略小于薄膜塑料袋的尺寸，铺设时应使薄膜塑料袋紧贴坑壁，否则测得的容积就偏小，求得偏大的密度值。

5.4 灌砂法

5.4.1 灌砂法比较复杂，需要一套量砂设备，但能准确的测定试坑的容积，适用于我国半干旱、干旱的西部和西北部地区。

5.4.3 标准砂的粒径选用0.25~0.5mm，因为在此范围内，标准砂的密度变化较小。

6 土粒比重试验

6.1 一般规定

6.1.1 土粒比重定义为土粒在105~110℃温度下烘至恒量时的质量与同体积4℃时纯水质量的比值。根据现行国家标准《岩土工程基本术语标准》GB/T 50279仍使用“土粒比重”这个无量纲的名词，作为土工试验中的专用名词。

6.1.2 当试样中既有粒径大于5mm的土颗粒，又含有粒径小于5mm的土颗粒时，工程中采用平均比重，取粗细颗粒比重的加权平均值。

6.2 比重瓶法

6.2.1、6.2.2 颗粒小于5mm的土用比重瓶法测定比重，比重瓶有100mL和50mL两种，经比较试验认为瓶的大小对比重成果影响不大，因用100mL的比重瓶可多取些试样，使试样的代表性和试验准确度可以提高。第6.2.5条条文中采用100mL的比重瓶，也允许采用50mL的比重瓶。

6.2.3 比重瓶的校正有称量校正法和计算校正法，前一种方法准确度较高，后一种方法引入了某些假设，但一般认为对比重影响不大，本标准以称量校正法为准。

6.2.5 试样规定用烘干土，认为可减少计算中的累计误差，也适合于含有机质、可溶盐、亲水性胶体等的土用中性液体测定。

试验用水规定为纯水，要求水质纯度高，不含任何被溶解的固体物质。一般规定有机质含量小于5%时，可以用纯水，超过5%时用中性液体。土中易溶盐含量等于、大于0.5%时，用中性液体测定。

排气方法条文中规定用煮沸法，此法简单易行，效果好。如需用中性液体时，应采

用真空抽气法。砂土煮沸时砂粒容易跳出，亦允许用真空抽气法代替煮沸法。

6.3 浮称法

6.3.1 浮称法所测结果较为稳定，但大于20mm的粗粒较多时，用本方法将增加试验设备，室内使用不便，故条文规定粒径大于5mm的试样中20mm的颗粒小于10%时使用浮称法。

6.4 虹吸筒法

6.4.1 虹吸筒法测定比重的结果不稳定，因为粗颗粒的实体积测不准，测得的比重值一般偏小。只在粒径大于5mm的试样中20mm的颗粒等于、大于10%时，使用虹吸筒法。用虹吸筒法测定比重时，要特别注意排气，因粗颗粒内部包含着封闭孔隙。

若要测定粗粒土饱和面干比重亦采用虹吸筒法。

7 颗粒分析试验

7.1 筛析法

7.1.2 筛析法颗粒分析试验在选用分析筛的孔径时，可根据试样颗粒的粗细情况灵活选用。

7.1.5 当大于0.075mm的颗粒超过试样总质量的10%时，应先进行筛析法试验然后经过洗筛过0.075mm筛，再用密度计法或移液管法进行试验。

7.2 密度计法

7.2.1 原标准中适用于粒径小于0.074mm的土，现行国家标准《土的分类标准》GBJ145中将粒径0.074mm已改成0.075mm，为此，本标准洗筛改成0.075mm。

7.2.2 密度计制造过程中刻度往往不易准确，使用前须进行刻度及弯液面校正，土粒有效沉降距离的校正，但这些校正工作极繁重，目前国内已有生产厂制造甲种密度计准确至0.5°，乙种密度计准确至0.0002的刻度，并对土粒有效沉降距离及弯液面在出厂前都已进行校正的产品，如果采用此种标准的密度计，且备有检定合格证书，在使用前不需进行密度计校正。其他密度计均需在使用前按有关《密度计校正规程》进行校正。

7.2.4 试样的洗盐：本试验规定了当试样中易溶盐含量大于0.5%时，须经过洗盐手续才能进行密度计法颗粒分析试验，试样中含有易溶盐会影响试验成果，见表1。

表1 盐渍土洗盐与不洗盐的比较

省区	土样号	含盐量(%)	粉粒含量(%) 0.050 ~ 0.005mm		粘粒含量(%) < 0.005mm	
			洗盐前	洗盐后	洗盐前	洗盐后
新疆	146	5.26	22.33	6.0	9.08	18.61
	147	14.66	17.23	13.10	40.04	41.17
甘肃	133	2.1	62.20	47.50	1.50	14.00
	142	2.19	54.50	43.50	0.50	14.00
	143	1.11	24.99	22.47	17.99	21.34
肃	149	5.13	20.79	7.21	5.25	16.52
	156	0.88	41.50	34.70	9.50	18.00

注：按密度计法测定。

从表1中可见，未经洗盐的试样与洗盐后的试样的颗粒分析，前者粉粒含量高，粘粒含量低；后者粉粒含量低，粘粒含量高。为此，本试验规定对易溶盐含量大于0.5%的试样，应进行洗盐。

含盐量的检验方法，本试验采用电导率法和目测法以供选用，电导率法具有方便、快速估计试样含盐状况的优点。它的原理是根据电导率在低浓度溶液范围内，与悬液中易溶盐浓度成正比关系，电导率因盐性不同而异，但根据实验证明， K_{20} 小于1000 μ S/cm

时，相应的含盐量不会大于0.5%。因此，本试验规定用电导率法检验洗盐应洗到溶液的 K_{20} 小于 $1000 \mu S/cm$ 。并规定当试样溶液的 K_{20} 大于 $2000 \mu S/cm$ 时应将含盐量计入，否则会影响试验计算结果。

目测法是比较简易的方法，当没有电导率仪时可采用目测法检验试样溶液是否含盐。

- 1) 试样的分散标准。粘性土的土粒可分成原级颗粒和团粒两种。对于颗粒分析的分散标准，有的主张用全分散法，理由是颗粒分析本身应该反映土的各种真实原级颗粒的组成；有的主张用半分散法或微集成法，即不加任何分散剂使其在水中自然分散，以符合实际土未被完全分散的情况。

对照国内外有关标准对分散标准选择的调查，本试验采用了半分散法，用煮沸加化学分散剂来达到土粒既能充分分散，又不破坏土的原级颗粒及其聚集体。这些分散方法比较符合工程实际，基本上可以使土结构单元在不受任何破坏时，求得土的粒组所占土总质量的百分数。

- 2) 分散剂品种问题。国内对土的分散剂品种选用问题有不少争论，主要反映在：从不同土类的角度出发，选用不同的合适的分散剂；从不同的分散理论角度出发，如有的从土悬液pH值大小来考虑，有的从粘土的离子交换容量能力来考虑，选用合适的分散剂。

从目前国际上的趋势看，分散剂的品种有采用强分散剂而不再考虑对不同土用不同分散剂的趋势，以便统一标准和方法。美国的ASTM—82已用六偏磷酸钠的搅拌方法。英国BSI377—75也改用六偏磷酸钠加硅酸钠振荡4h的方法。德国DINI8123—71是采用5%焦磷酸钠25mL后搅拌10min的方法。前苏联TOCT12536—67，则未作硬性规定，而在一般情况下，采用浓度25%氨水10mL煮沸的方法，如68，有凝聚现象，才加入焦磷酸钠作为稳定剂。

国内大多数规程也均用钠盐作为分散剂，以六偏磷酸钠使用最广，使用偏磷酸钠和焦磷酸钠的也不少，还有一些单位使用25%氨水作分散剂。

- 3) 分散剂的选择，应考虑各种不同土类的粘粒矿物组成，结晶性质及浓度，同时又要考虑到试验资料的可比性及国内外交流的需要。根据我国以往对分散剂使用的现状及我国土类分布的多样性，本标准规定了对一般易分散的土用浓度4%六偏磷酸钠作为分散剂。至于特殊的土类，应按工程实际需要及土类的特点选择不同的合适的分散剂。如土中易溶盐含量超过0.5%，则需经洗盐手续。

7.3 移液管法

7.3.1 移液管法颗粒分析试验适用于粒径小于 $0.075mm$ 而比重大的土，虽然操作不如密度计法简单和迅速，仍然得到较广泛的应用。

8 界限含水率试验

8.1 液、塑限联合测定法

8.1.1 目前国际上测定液限的方法是碟式仪法和圆锥仪法。各国采用的碟式仪和圆锥仪规格不尽相同，对试验结果有影响，利用碟式仪和我国采用的76g锥入土深度10mm圆锥仪进行比较，结果是随着液限的增大，两者所测得的差值增大。一般情况下碟式仪测得的液限大于圆锥仪液限。鉴于国际上对液限的测定没有统一的标准，为了使本标准向国际通用标准靠拢。制订本标准时认为与美国ASTM碟式仪标准等效是合适的。根据圆锥仪的特点和我国几十年的使用实践，认为圆锥仪操作简单，所测数据比较稳定，标准易于统一，所以本标准中圆锥仪法和碟式仪法均列入。

塑限的测定长期采用滚搓法，该法最大的缺点是人为因素影响大。十多年来，我国

一些试验单位用圆锥仪测定塑限，已找出与塑限相对应的下沉深度求得的塑限与滚搓法基本一致，该法定名为液、塑限联合测定法。其主要优点是易于掌握，采用电磁落锥可减少人为因素影响。水利部、交通部公路系统、原冶金工业部和原地质矿产部的土工试验规程中均将该法列入。为此，本标准中规定使用圆锥仪时，采用液、塑限联合测定法；使用碟式仪时，采用滚搓法测定塑限。联合测定法的理论基础是圆锥下沉深度与相应含水率在双对数坐标纸上具有直线关系。

8.1.2 本标准中图8.1.2液、塑限联合测定仪示意图，实际使用时读数显示有光电式、游标式和百分表式，目前仅光电式有定型产品，故绘制的是液、塑限联合测定仪示意图。

8.1.3 试验标准：液限是试样从牛顿液体(粘滞液体)状态变成宾哈姆体(粘滞塑性)状态时的含水率，在该界限值时，试样出现一定的流动阻力，即最小可量度的抗剪强度，理论上是强度“从无到有”的分界点。这是采用各种测定方法等效的标准。根据以往的研究，卡萨格兰特(Casagrande)得到土在液限状态时的不排水强度约为2—3kPa。而使用76g圆锥，下沉深度10mm时测得土的强度为5.4kPa，比其他液限标准下的强度高几倍(见表2)，实际上，按76g锥，下沉深度10mm对应的试样含水率不是土的真正液限，不能反映土的真正物理状态，因此，必须改进，使液限标准向国标上通用标准靠拢。本试验采用与碟式仪测得液限时土的抗剪强度相一致的方法来确定圆锥仪的入土深度，作为液限标准。

表2 碟式仪液限土的不排水强度

基座材料	抗剪强度 C_u (kPa)	资料来源
硬橡胶	2.55	Seed等人 (1964)
胶 木	2.04 ~ 3.00	Casagrande (1958)
	1.12 ~ 2.35	Norman (1958)
	1.33 ~ 2.45	Ycussef等人 (1965)
	0.51 ~ 4.08	Karisson (1977)
英国标准 橡胶	0.82 ~ 1.68	Norman (1958)
	0.71 ~ 1.48	Skempton Northey (1952)
	1.02 ~ 3.06	Skopek Ter—Stepanian (1975)

交通部公路系统在制订标准时，用不同质量的圆锥仪(76g, 80g, 100g)对1000多个土样进行对比试验表明，锥质量100g，锥角30°，下沉深度20mm时的含水率作为液限精度最高。原水利电力部制订规程时，对16种不同土类，用76g, 80g, 100g质量的圆锥仪进行比较，测定不同下沉深度下土的十字板剪切强度和无侧限抗压强度的结果表明，以76g锥下沉深度17mm和100g锥下沉深度20mm时的含水率作为液限与美国ASTM D423碟式液限仪测得液限时土的强度(平均值)一致，说明这两种标准与ASTM标准等效，鉴于目前使用76g锥较多，本标准将76g锥，下沉深度17mm时的含水率作为液限标准。尽管过去用76g圆锥仪，下沉深度10mm测定液限时土的强度偏高，但由于50年代以来一直使用这个标准，需要有一个过渡时期，从实用出发，本标准既采用76g锥下沉深度17mm时的含水率定为液限的标准，又采用下沉深度10mm时的含水率定为10mm液限标准。使用于不同目的，当确定土的液限值用于了解土的物理性质及塑性图分类时，应采用碟式仪法或17mm时的含水率确定液限；现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7确定粘性土承载力标准值时，按10mm液限计算塑性指数和液性指数，是配套的专门规定。

使用圆锥仪测定塑限，是以滚搓法作为比较的，制订过程中，交通部公路系统进行了大量对比试验得出了不同土类塑限时下沉深度和液限含水率的关系曲线，提出对粘性土用双曲线确定塑限时锥的下沉深度 h_p ，对砂类土用正交三次多项式曲线确定 h_p 值

(图1), 然后根据 h_p 值从本标准图8.1.5查得含水率即为塑限。原水利电力部经过对比试验, 绘制圆锥下沉深度与塑限时抗剪强度的关系曲线有一剧烈的变化段(图2), 引两直线的交点, 该点的下沉深度约为1.8mm, 相对应抗剪强度约130kPa, 与国外塑限时的强度接近, 认为该点的含水率即为塑限。为此, 建议76g锥, 下沉深度2mm时的含水率定为塑限。

通过实践, 有的单位发现, 对于粉土用液、塑限联合测定法测得的液、塑限偏低, 因此, 对下沉深度提出疑义, 通过分析认为, 本标准的规定有个平均值的概念, 同时, 由于粉土的液、塑限状态, 本身就难以确定, 加上下沉速度影响下沉深度不稳定, 因此, 对粉土进行试验时应特别注意控制下沉深度, 本次修订时, 鉴于目前积累的资料尚不足以说明此问题, 本标准中的塑限仍以圆锥下沉深度2mm时的含水率为标准, 待积累更多资料后再作修改。

原标准中液、塑限联合测定采用三皿法, 即制备3份不同含水率的试样进行测定, 根据试验发现, 3份试样取得不匀时影响试验结果。为此, 本标准修订时改用一皿法。

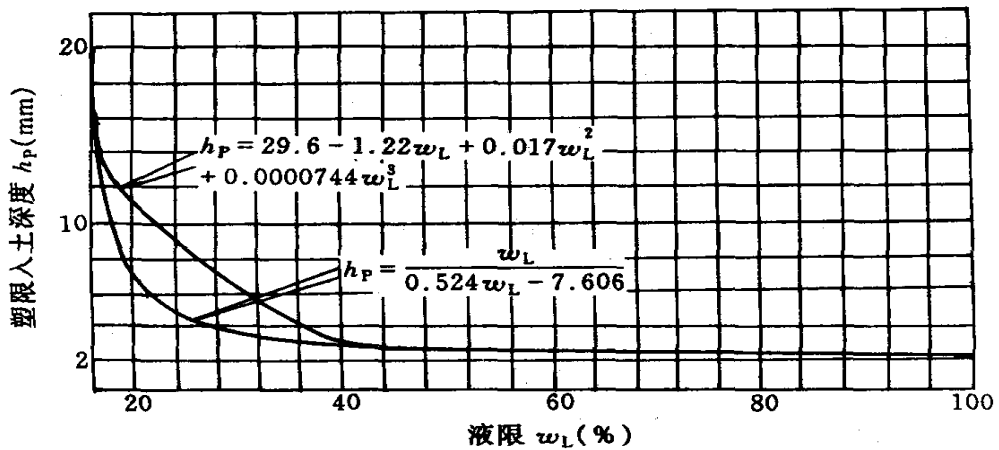


图1 圆锥下沉深度与液限关系曲线

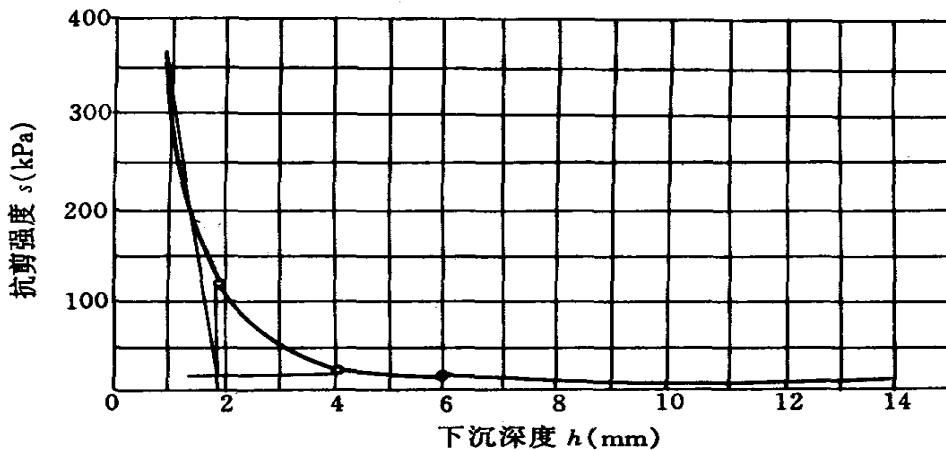


图2 圆锥下沉深度与塑限时抗剪强度关系

8.2 碟式仪液限试验

8.2.1 碟式仪测定液限时, 由于底座材料和槽刀规格不同, 所测得液限时相应的强度是不同的, 见表2。卡萨格兰特得到液限时的不排水抗剪强度为2~3kPa, 为此, 本标准中使用美国ASTMD423所采用的碟式仪规格, 便于国际技术交往和对外资工程的开

发。

8.2.3 槽刀尖端宽度应为2mm，如磨损应更换。

8.2.5 槽底试样的合拢长度可用槽刀的一端量测。

8.3 滚搓法塑限试验

8.3.1 长期以来，国内外采用滚搓法测定塑限，该法的缺点主要是标准不易掌握，人为因素影响较大，对低塑性土影响尤甚，往往得出偏大的结果，本标准中已列入液限、塑限联合法可以替代滚搓法，考虑到与碟式仪配套，故仍作为一种试验方法列入本标准。

8.3.3 滚搓法测定塑限时，各国的搓条方法不尽相同，土条断裂时的直径多数采用3mm，美国ASTM D424规定为1/8in(约3.2mm)，我国一直使用3mm，故本标准仍规定为3mm。对于某些低液限粉质土，始终搓不到3mm，可认为塑性极低或无塑性，可按细砂处理。

8.4 收缩皿法缩限试验

8.4.1 原标准中为土的缩限试验，为与前三节标题统一，改为收缩皿法缩限试验。即用收缩皿法测定土的缩限。本试验区别于原状试样的收缩试验。

9 砂的相对密度试验

9.1 一般规定

9.1.1 相对密度是砂类土紧密程度的指标。对于土作为材料的建筑物和地基的稳定性，特别是在抗震稳定性方面具有重要的意义。

相对密度试验适用于透水性良好的无粘性土，对含细粒较多的试样不宜进行相对密度试验，美国ASTM规定0.074mm土粒的含量不大于试样总质量的12%。

相对密度试验中的三个参数即最大干密度，最小干密度和现场干密度(或填土干密度)对相对密度都很敏感，因此，试验方法和仪器设备的标准化是十分重要的。然而目前尚没有统一而完善的测定方法，故仍将原法列入。从国外情况看，最大干密度用振动台法测定，而国内振动台没有定型产品，为此，将美国ASTM D2049标准的仪器设备和试验方法附在条文说明中，供各试验室参阅。

9.2 砂的最小于密度试验

9.2.1 目前国际上对砂的最大孔隙比即最小干密度的测定一般用漏斗法。该法是用小的管径控制砂样，使其均匀缓慢地落入量筒，以达到最疏松的堆积，但由于受漏斗管径的限制，有些粗颗粒受到阻塞，加大管径又不易控制砂样的缓慢流出，故适用于较小颗粒的砂样。

9.2.2 用量筒倒转法时，采用慢速倒转，虽然细颗粒下落慢，粗颗粒下落快，粗细颗粒稍有分离现象，但能达到较松的状态，测得最小干密度，故本标准中以慢速倒转法作为测定最小干密度的一种方法。原标准中将漏斗法和量筒法两种方法分开写，实际试验时，是可以结合在一起进行的，修订时考虑便于使用，将两种方法合并在一起。

9.3 砂的最大干密度试验

9.3.1 制订原标准时，曾用振动锤击法和振动台法进行比较，结果表明：振动锤击法测得的最大干密度比振动台法测得的密度大(见表3)，振动台法是按照美国ASTM D2049标准的规定，采用一定的频率、振幅、时间和加重物块，用两种仪器分别进行了干法和湿法试验，表3中标准砂是均匀的中砂，黄砂是级配良好的砂。试验结果表明振动锤击法的干法所测得的干密度最大，故本标准仍以振动锤击法为标准。鉴于国际上采用振动台法较多，而国内又无定型设备，为此，将《美国材料试验学会无凝聚性土相对密度标准试验方法(ASTM D2049—69)介绍》附在此，供参阅。

表3 不同方法测得的最大干密度(g/cm³)

土 类	振 动 台 法		振动锤击法	
	干法	湿法	干法	湿法
标准砂	1.65	1.72	1.78	1.72
黄 砂	1.88	1.94	2.04	1.96

9.3.2 用振动锤击法测定砂的最大干密度时，需尽量避免由于振击功能不同而产生的人为误差，为此，在振击时，击锤应提高到规定高度，并自由下落，在水平振击时，容器周围均有相等数量的振击点。

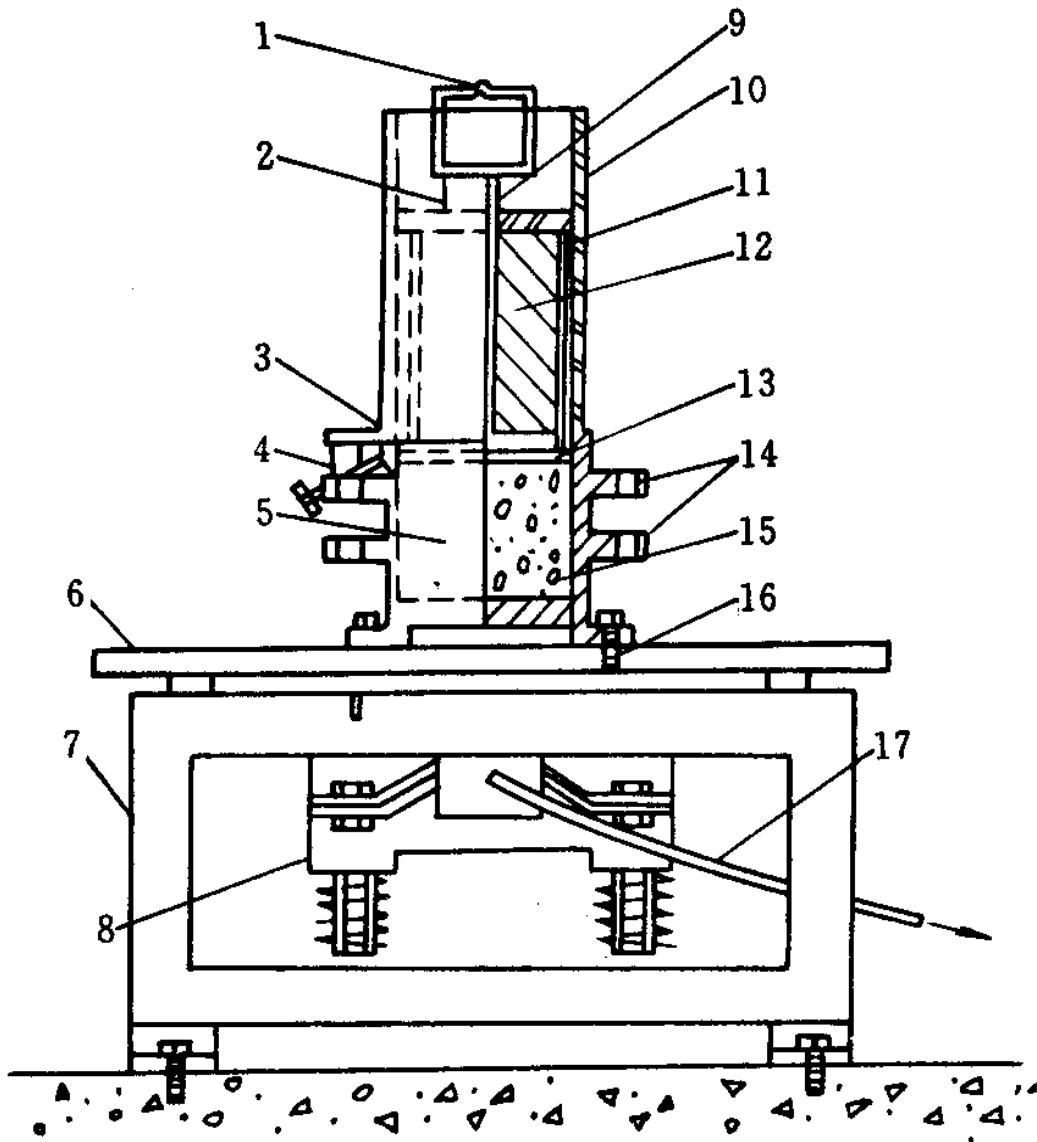
[附]美国材料试验学会无凝聚性土相对密度标准试验方法(ASTM D 2049—69)介绍

1 适用范围。本法用于测定无凝聚性、能自由排水的砂土的相对密度，凡用击实试验不能得出明确的含水率与干密度关系曲线，而且最大密度比振动法得到的最大密度小的粗粒土，其中细粒含量(< 0.075mm)不大于12%，且有自由排水性能的土，均可用本法测定。本法利用振动压实求其最大密度，用倒转法求最小密度。

2 仪器设备。仪器总装置图见图A，各部件及辅助设备如下：

1)震动台：带有座垫的钢质震动台面板，尺寸约为30in × 30in(762mm × 762mm)，由半无声式电磁震动机启动，净重超过100 lb(45.4kg)，频率为3600r/min，振幅在250 lb(113.5kg)荷重下由0.002in(0.05mm)至0.025in(0.64mm)，交流电压230V。

2)试样筒：圆筒容积为0.1ft³与0.5ft³(2830cm³ 与14160cm³)，尺寸要求如表A—1。



1-起吊把手；2-约1" (2.5cm)；3-焊接；4-夹具；5-0.1ft(3.05cm)试样筒；6-底板；
7-震动台；8-震动机；9-9.5mm钢杆；10-套筒；11-加重铅；12-加重物；13-加重底板；
14-导向瓦；15-试样；16-固定螺丝；17-电线

表A—1 试样筒尺寸及所需试样质量

土粒最大尺寸 in (mm)	所需试样质量 lb (kg)	最小密度试验 采用的倒注设备	试样筒所需尺寸 ft ³ (cm ³)
3 (76.2)	100 (45.3)	铲或特大勺	0.5 (14160)
1 1/2 (38.1)	25 (11.3)	勺	0.1 (2830)
3/4 (19.1)	25 (11.3)	勺	0.1 (2830)
3/8 (9.5)	25 (11.3)	漏斗管径(25.4mm)	0.1 (2830)
3/16 (4.76)	25 (11.3)	漏斗管径(12.7mm)	0.1 (2830)

3) 套筒：每种尺寸的试样筒有一个套筒，它带有固定夹具。

4) 加重底板：每种尺寸的试样筒有一厚 $\frac{1}{2}$ in(12.7mm)的底板。

5) 加重物：每种尺寸的试样筒有一加重物，对于所用的试样筒加重底板与加重物的总

重力相当于 2 lb/in^2 (14 kPa)。

- 6) 加重底板把手：每一加重底板有一个。
- 7) 量表架及量表：量表量程 2 in (50.8 mm)，精度 0.001 in (0.025 mm)。
- 8) 校正杆：金属制 $3 \text{ in} \times 12 \text{ in} \times \frac{1}{8} \text{ in}$ ($76.2 \text{ mm} \times 304.8 \text{ mm} \times 3.2 \text{ mm}$)
- 9) 倒注设备：装有漏斗状管嘴的金属罐，管嘴直径为 $\frac{1}{2} \text{ in}$ (12.7 mm)和 1 in (25.4 mm)；罐径 6 in (152.4 mm)，罐高 12 in (304.8 mm)。
- 10) 其他设备：搅拌盘、台秤、起重机(起重力至少 1.36 kN)等。

3 试样筒体积的率定。利用直接测量试样筒尺寸来计算其体积。量测时精确到 0.001 in (0.025 mm)，对筒体积计算准确至 0.0001 ft^3 (2.83 cm^3)，对大筒体积准确至 0.001 ft^3 (28.3 cm^3)。再用水校核，测定时要保证水充满筒内，将筒内水称量，测水温 t ，再以 t 下每克水的体积(mL)乘水质量即得筒体积。不同温度下每克水的体积见表A—2。

表A—2 不同温度下每克水的体积(mL/g)

温度	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
°F	53.6	57.2	60.8	64.4	68.0	71.6	75.2	78.8	82.4	86.0	89.6
水的体积(mL/g)	1.00048	1.00073	1.00103	1.00138	1.00177	1.00221	1.00268	1.00320	1.00375	1.00435	1.00497

4 试样制备。选用代表性土样在 110 ± 5 下烘干过筛，筛孔要足够小，使弱胶结的土粒能分散。

5 最小密度的测定。根据试样的最大粒径，选用倒注设备与试样筒，称筒质量并记录：

- 1) 把粒径小于 $3/8 \text{ in}$ (9.5 mm)的烘干土尽量疏松地放入试样筒内，方法是用漏斗管把土均匀稳定地注入，随时调整管口的高度，使自由下落距离为 1 in (25.4 mm)，同时要从外侧向中心呈螺旋线地移动，使土层厚度均匀而不产生分选。当充填到高出筒顶约 1 in (25.4 mm)，用钢质直刃刀沿筒口刮去余土，注意在试验过程中不能扰动试样筒。称量并记录。
- 2) 粒径大于 $3/8 \text{ in}$ (9.5 mm)的烘干土，应用大勺(或铲)将试样铲入试样筒内，勺应紧挨筒内土面，使勺内土粒滑入而不是跌落入筒。必要时用手扶持大颗粒土，以免从勺内滚落入筒。填土直至溢出筒顶，但余土高不大于 1 in (25.4 mm)，用钢质直刃刀将筒面刮平，当有大颗粒时，凸出筒面的体积应能近似地与筒面以下的大孔隙体积抵消。称量并记录。

6 最大密度的测定。测定最大密度(最小孔隙比)用湿法或干法。

- 1) 干法：先拌和烘干土样，使分布均匀，尽量不要粗细分离。将土样填入试样筒称量，填法与最小密度的测定相同，通常情况是直接用最密度验中装好的筒不再重装。装上套筒，把加重底板放到土面上，加重物放到加重底板上。将震动机调到最大振幅，将此加重的试样震动 8 min ，卸除荷重与套筒，测读量表读数，算出试样体积。如震动过程中细粒土有损失时，需再称量并记录。
- 2) 湿法：有些土在饱和状态时可得最大密度。因此，在试验开始时应同时用干法与湿法作比较，确定何者较大(只要超过 1%)。湿法是将烘干试样中充分加水，至少浸泡半小时，最好用天然湿土。装土时充分加水，使有少量自由水积于土面。装完后立即震动 6 min ，在此期间要减小振幅，以防止某些土过分的土沸。在震动的最后几分钟，要吸除土面上的水，再装上套筒，放加重底板，加重物，震动 8 min 。震完后卸除加重物与套筒，测读量表读数，烘干试样并称量记录。

7 最大、最小密度计算：

$$\text{最小密度} \quad \min = \frac{m_d}{V_c}$$

$$\text{最大密度} \quad \max = \frac{m_d}{V}$$

式中 m_d ——干土质量(1b)(g)；

V_c ——试样筒率定后的体积(ft^3)(cm^3)；

V ——土体积 = $V_c - [(R_i - R_f)/12] \times A(\text{ft}^3)$ (cm^3)；

R_f ——震后在加重底板上的读数(in)(mm)；

R_i ——开始读数(in)(mm)；

A ——试样筒断面积(ft^2)(cm^2)。

10 击实试验

10.0.1 室内扰动土的击实试验一般根据工程实际情况选用轻型击实试验和重型击实试验。我国以往采用轻型击实试验比较多，水库、堤防、铁路路基填土均采用轻型击实试验，高等级公路填土和机场跑道等采用重型击实较多。重型击实仪的击实筒内径大，最大粒径可以允许达到20mm。原标准定为40mm，按5层击样超高太大，按3层击样可允许达到40mm。

10.0.2 单位体积击实功能是将作用于土面上的总的功除以击实筒容积而得。本标准单位体积功能计算中 g 采用 9.81m/s^2 ，若按10换算即得 604Kj/m^3 与国外通用标准一致，与交通部公路规程的功能也是相同的。

10.0.3 击实试验所用的主要仪器。原标准采用文字叙述，考虑到列表比较清楚，修订中改为表格式，将主要的击实筒、击锤和护筒尺寸列出。其他的主要仪器中，因重型击实试验土料用量多，所以将台秤从5kg改为10kg；增加了标准筛一项，考虑到标准筛亦属计量仪器，也是属于主要的仪器，故增加此项。

10.0.4 本条为击实试验的试样制备。本次修改重点补充了重型击实试验的有关内容，原标准条文中内容偏重于轻型击实试验。试样制备的具体操作和本标准第3.1.5条相同，因此条文中没有详细叙述。

由于击实曲线一定要出现峰值点，由经验可知，最大干密度的峰值往往都在塑限含水率附近，根据土的压实原理，峰值点就是孔隙比最小的点，所以建议2个含水率高于塑限，有2个含水率低于塑限，以使试验结果不需补点就能满足要求。

注：重型击实试验最优含水率较轻型的小，所以制备含水率可以向较小方向移。

10.0.5 试样击实后总会有部分土超过筒顶高，这部分土柱称为余土高度。标准击实试验所得的击实曲线是指余土高度为零时的单位体积击实功能下土的干密度和含水率的关系曲线。也就是说，此关系曲线是以击实筒容积为体积的等单位功能曲线，由于实际操作中总是存在或多或少的余土高度，如果余土高度过大，则关系曲线上的干密度就不再是一定功能下的干密度，试验结果的误差会增大。因此，为了控制人为因素造成的误差，根据比较试验结果及有关资料，本标准规定余土高度不应超过6mm。

10.0.9 对轻型击实试验，试样中含有粒径大于5mm颗粒的试验结果的校正。土样中常掺杂有较大的颗粒，这些颗粒的存在对最大干密度与最优含水率均有影响。由于仪器尺寸的限制，必须将试样过5mm筛，因此，就产生了对含有粒径大于5mm颗粒试样试验结果的校正。一般情况下，在粘性土料中，大于5mm以上的颗粒含量占总土量的百分数是不大的，大颗粒间的孔隙能被细粒土所填充，可以根据土料中大于5mm的颗粒含量和该颗粒的饱和面干比重，用过筛后土料的击实试验结果来推算总土料的最大干密度和最优含

水率。如果大于5mm粒径的含量超过30%时，此时大颗粒土间的孔隙将不能被细粒土所填充，应使用其他试验方法。

11 承载比试验

11.0.1 本试验主要参考美国ASTM D1883—78和AASHTO—74规程编制。承载比试验是由美国加州公路局首先提出来的，简称CBR(California Bearing Ratio的缩写)试验。日本也把CBR试验纳入全国工业规格土质试验方法规程(JIS A1211—70)。所谓CBR值，是指采用标准尺寸的贯入杆贯入试样中2.5mm时，所需的荷载强度与相同贯入量时标准荷载强度的比值。标准荷载与贯入量之间的关系如表4所示。

表4 不同贯入量时的标准荷载强度和标准荷载

贯入量 (mm)	标准荷载强度 (kPa)	标准荷载 (kN)
2.5	7000	13.7
5.0	10500	20.3
7.5	13400	26.3
10.0	16200	31.3
12.5	18300	36.0

标准荷载强度与贯入量之间的关系用下式表示：

$$P = 162 \times l^{0.61} \quad (1)$$

式中 P——标准荷载强度(kPa)；

l——贯入量(mm)。

承载比(CBR)是路基和路面材料的强度指标，是柔性路面设计的主要参数之一。

本试验方法只适用于室内扰动土的CBR试验。由于击实筒高为166mm，除去垫块的高度50mm，实际试样高度为116mm，按5层击实，与重型击实的击实筒相同，只能适用粒径小于20mm的土，若按3层击样，可采用40mm，为此，本次修订改成20mm或40mm。

11.0.3 本试验制备试样采用风干法，按四分法备料，先根据重型击实试验方法求得试样最优含水率后，再按最优含水率制备所需试样，使试样的干密度与含水率保持与施工时一致。

11.0.5 进行CBR试验时，应模拟试料在使用过程中处于最不利状态，贯入试验前一般将试样浸水饱和4昼夜作为设计状态，国内外的标准均以浸水4昼夜作为浸水时间，当然也可根据不同地区、地形、排水条件、路面结构等情况适当改变试样的浸水方法和浸水时间，使CBR试验更符合实际情况。

为了模拟地基的上复压力，在浸水膨胀和贯入试验时，试样表面需要加荷载块，尽管希望能施加与实际荷载或设计荷载相同的力，但对于粘性土来说，特别是上复压力较大时，荷载块的影响是无法达到要求的，因此，本次修订规定施加4块荷载块(5kg)作为标准方法。

在加荷装置上安装好贯入杆后，需使杆端面与试样表面充分接触，所以先要在贯入杆上施加45N的预压力，将此荷载作为试验时的零荷载，并将该状态的贯入量为零点。

绘制单位压力P和贯入量l的关系曲线时，如发现曲线起始部分呈反弯，则表示试验开始时贯入杆端面与土表面接触不好，应对曲线进行修正，以0点作为修正后的原点。

11.0.6 公式中的分母7000和10500是原标准以kgf/cm²表示时的70和105乘以换算系数(1kgf/cm² = 100kPa)而得。

当制备3个干密度试样时，使击实后的干密度控制在最大干密度的95% ~ 100%。

12 回弹模量试验

12.1 杠杆压力仪法

12.1.1 在采用杠杆压力仪法时，当压力较大时，加卸载将比较困难，因此，主要适用于含水率较大，硬度较小的土。

12.1.2 本标准将承载板的直径定为50mm，是根据交通部公路土工试验规程的规定，因此杠杆压力仪的加压球座直径也相应定为50mm。目的是与现场承载板试验结果较好地一致。原尺寸37.4mm的室内承载板试验得出的回弹模量往往比现场试验偏大很多，为减轻质量，承载板用空心圆柱体。

室内试验回弹变形很小，尤其在加载初始阶段，估读误差大，故测定变形的量表采用千分表。

12.1.4 由于加载开始时的土样塑性变形，得出的 $p-l$ 曲线有可能与纵坐标轴相交于原点以下的位置，如果仍按读数值计算回弹变形，其中将包括一部分塑性变形，故应对读数进行修正。

12.2 强度仪法

12.2.1 强度仪法适用于各种湿度、密度的土和加固土。对于硬度较大的土用本法尤为方便。

12.2.2 本标准所用的击实筒，仅需在一般击实试验和CBR试验所用的试样筒上钻一直径5mm，深5mm的螺丝孔。

强度仪法和杠杆压力仪法所用的承载板相同，两种仪器通用。

12.2.3 加载后由于土样的微小变形可能会使测力计发生轻微卸载，对于较硬的土卸载很小可以忽略不计；当土样较软时，可用手稍稍触动强度仪摇把，补上卸掉的微小压力。

13 渗透试验

13.1 一般规定

13.1.1 渗透是液体在多孔介质中运动的现象，渗透系数是表达这一现象的定量指标，由于影响渗透系数的因素十分复杂，目前室内和现场用各种方法所测定的渗透系数，仍然是个比较粗略的数值。

测定土的渗透系数对不同的土类应选用不同的试验方法。试验类型分为常水头渗透试验和变水头渗透试验，前者适用于砂土，后者适用于粘土和粉土。

13.1.2 关于试验用水问题。水中含气对渗透系数的影响主要由于水中气体分离，形成气泡堵塞土的孔隙，致使渗透系数逐渐降低，因此，试验中要求用无气水，最好用实际作用于土中的天然水。本标准规定采用的纯水要脱气，并规定水温高于室温 $3 \sim 4$ ，目的是避免水进入试样因温度升高而分解出气泡。

13.1.3 水的动力粘滞系数随温度而变化，土的渗透系数与水的动力粘滞系数成反比，因此在任一温度下测定的渗透系数应换算到标准温度下的渗透系数。关于标准温度，目前各国不统一，美国采用 20 ，日本采用 15 ，前苏联采用 10 ，考虑到标准温度应有标准温度的定义去解释，以及国内各系统采用的标准均为 20 ，为此，本标准以 20 作为标准温度。

13.1.4 由于渗透系数的测值不够正确，试验中应多测几次，取在允许差值范围内的平均值作为实测值。

13.1.5 土的渗透性是水流通过土孔隙的能力，显然，土的孔隙大小，决定着渗透系数的大小，因此测定渗透系数时，必须说明与渗透系数相适应的土的密度状态。

13.2 常水头渗透试验

13.2.1 用于常水头渗透试验的仪器有多种，常用的有70型渗透仪和土样管渗透仪，这些仪器设备，操作方法和量测技术等方面与国外大同小异，国内各单位通过多年来的工作实践认为是可行的。

为此,本标准中没有规定采用何种仪器类型,只要求仪器结构简单,试验成果可靠合理。

13.2.2 试样安装时,在滤网上铺2cm厚的粗砂作为过滤层,在试样顶面铺2cm厚的砾石作为缓冲层,过滤层和缓冲层材料的渗透系数应恒大于试样的渗透系数。

13.2.3 常水头渗透系数的计算公式是根据达西定律推导的,求得的渗透系数为测试温度下的渗透系数。计算时需要校正到标准温度下的渗透系数。

13.3 变水头渗透试验

13.3.1 变水头渗透试验使用的仪器设备除应符合试验结果可靠合理、结构简单外,要求止水严密,易于排气。仪器形式常用的是55型渗透仪,负压式渗透仪,为适应各试验室的设备,仪器形式不作具体规定。

13.3.3 试样饱和是变水头渗透试验中的重要问题,土样的饱和度愈小,土的孔隙内残留气体愈多,使土的有效渗透面积减小。同时,由于气体因孔隙水压的变化而胀缩,因而饱和度的影响成为一个不定的因素,为了保证试验准确度,要求试样必须饱和。采用真空抽气饱和法是有效的方法。

13.3.4 变水头渗透系数的计算公式是根据达西定律利用同一时间内经过土样的渗流量与水头量管流量相等推导而得,求得的渗透系数也是测试温度下的渗透系数,同样需要校正到标准温度下的渗透系数。

14 固结试验

14.1 标准固结试验

14.1.1 本试验以往在国内的土工试验规程中定名为压缩试验,国际上通用的名称是固结试验(Consolidation Test),为了与国际通用的名称一致,本标准将该项试验定名为固结试验,同时表明本试验是以泰沙基(Terzaghi)的单向固结理论为基础的,故明确规定适用于饱和土。对非饱和土仅作压缩试验提供一般的压缩性指标,不能用于测定固结系数。

14.1.2 固结试验所用固结仪的加荷设备,目前常用的是杠杆式和磅秤式。近年来,随着工程建设的发展,以及测定先期固结压力,需要高压、高精度的压力设备,目前国内也有用液压式和气压式等加荷设备,本标准没有规定具体形式。仪器准确度应符合现行国家标准GB 4935及GB/T15406的技术条件。垂直变形量测设备一般用百分表,随着仪器自动化(数据自动采集),应采用准确度为全量程0.2%的位移传感器。

14.1.3 固结仪在使用过程中,各部件在每次试验时是装拆的,透水石也易磨损,为此,应定期率定和校验。

14.1.4 试样尺寸。在国外资料中,对试样的径高比作了规定,实践证明,在相同的试验条件下,高度不同的试样,所反映的各固结阶段的沉降量以及时间过程均有差异。由于国内的仪器,环刀直径均为61.8mm和79.8mm,高度为20mm,为此,试样尺寸仍用规定的统一尺寸,径高比接近国外资料。

14.1.5 关于荷重率。固结试验中一般规定荷重率等于1。由于荷重率对确定土的先期固结压力有影响,特别是软土,这种影响更为明显,因此,条文中规定:如需测定土的先期固结压力,荷重率宜小于1,可采用0.5或0.25,在实际试验中,可根据土的状态分段采用不同的荷重率,例如在孔隙比与压力的对数关系曲线最小曲率半径出现前,荷重率应小些,而曲线尾部直线段荷重率等于1是合适的。

稳定标准。目前国内外的土工试验标准(或规程)大多采用每级压力下固结24h的稳定标准,一方面考虑土的变形能达到稳定,另一方面也考虑到每天在同一时间施加压力和测记变形读数。本标准规定每级荷重下固结24h作为稳定标准。试验中仅测定压缩系

数时，施加每级压力后，每小时变形达0.01mm时作为稳定标准，满足生产需要。前一标准与国际上通用标准一致。对于要求次固结压缩量的试样，可延长稳定时间。一小时快速法由于缺乏理论根据，标准中不列。

14.1.15 土的先期固结压力用作图法确定，该法属于经验方法，亦是国际上通用的方法，在作图时，绘制孔隙比与压力的对数关系曲线，纵横坐标比例的选择直接影响曲线的形状和 P_c 值的确定，为了使确定的 P_c 值相对稳定，作图时应选择合适的纵横坐标比例。日本标准(JIS)中规定，在纵轴上取 $e_s = 0.1$ 时的长度与横轴上取一个对数周期长度比值为0.4~1.0。我国有色金属总公司和原冶金工业部合编的土工试验规程中规定为0.4~0.8，试验者在实际工作中可参考使用。

14.1.16 固结系数的确定方法有多种，常用的有时间平方根法、时间对数法和时间对数坡度法。按理，在同一组试验结果中，用3种方法确定的固结系数应该比较一致，实际上却相差甚大，原因是这些方法是利用理论和试验的时间和变形关系曲线的形状相似性，以经验配合法，找某一固结度 U 下，理论曲线上时间因数 T_v 相当于试验曲线上某一时间的 t 值，但实际试验的变形和时间关系曲线的形状因土的性质、状态及荷载历史而不同的，不可能得出一致的结果。一致认为，按时间对数坡度法确定 t_{68} ，求得的 C_v 值误差较大。因此，本标准仅列入时间平方根法和时间对数法，在应用时，宜先用时间平方根法，如不能准确定出开始的直线段，则用时间对数法。

14.2 应变控制连续加荷固结试验

14.2.1 应变控制加荷法是连续加荷固结试验方法之一。它是在试样上连续加荷，随时测定试样的变形量和底部孔隙水压力。按控制条件，连续加荷固结试验除等应变加荷(CRS)外，尚有等加荷率(CRL)和等孔隙水压力梯度(CGC)试验。

连续加荷固结试验的理论依据仍然是太沙基固结理论。要求试样完全饱和或实际上接近完全饱和。由于在试样底部测孔隙水压力，试样底部相当于标准试验中试样的中间平面。

14.2.2 试验过程中，在试样底部测定孔隙水压力，要求仪器结构应能符合试样与环刀、环刀及护环、底部与刚性底座之间密封良好，且易于排除滞留于底部的气泡。

控制的等应变速率是通过加压设备的测力系统传递的，因此，要求测力系统有相应的准确度。

测量孔隙水压力的传感器，要求体积因数(单位孔隙水压力下的体积变化)小，使从试样底部孔隙水的排出可以忽略，而能及时测定试样中的孔隙水压力变化。体积因数采用三轴试验所规定的标准。该试验中，孔隙水压力一般不超过轴向压力的30%，要求传感器的准确度为全量程的0.5%。

14.2.3 固结容器在使用过程中，各部件在每次试验时是装拆的，为此应定期校验。

14.2.4 从已有的试验资料表明，应变速率对一般土(液限低、活动性小)的压缩性指标和固结系数影响不大，但对高液限土(液限大于100)，应变速率大的试验结果表明，土的压缩量偏小(与标准固结试验相比)。因此，为了使不同方法所得的结果具有可比性，要求试验过程中，试样底部孔隙水压力不超过轴向压力的某一值，通过对不同应变速率条件下试样底部孔隙水压力值变化的试验结果表明，对正常固结土，在加荷过程中试样底部孔隙水压力 μ_b 达到稳定值时，其比值 $\mu_b/$ 一般在20%~30%，本标准采用ASTM4186—82的规定， $\mu_b/$ 取值范围为3%~20%，根据该范围估计的应变速率如本条文中表14.2.4，对于特殊土，根据经验可以修正该估计值。

数据采集时间间隔的规定基于以下理由：

- 1 试验开始时，试样底部孔隙水压力迅速增大；

2 取足够的读数确定应力应变曲线，当试验数据发生重大变化时，增加读数。

14.2.7 计算有效压力时，假定试样中的孔隙水压力处于稳定状态，沿试样的分布为一抛物线。

15 黄土湿陷试验

15.1 一般规定

15.1.1 黄土为第四纪沉积物，由于成因的不同，历史条件、地理条件的改变以及区域性自然气候条件的影响，使黄土的外部特性、结构特性、物质成分以及物理、化学、力学特性均不相同。本标准将原生黄土、次生黄土、黄土状土及新近堆积黄土统称为黄土类土。因为它们具有某些共同的变形特性，需要通过压缩试验来测定。

15.1.2 湿陷变形是指黄土在荷重和浸水共同作用下，由于结构遭破坏产生显著的湿陷变形，这是黄土的重要特性。湿陷系数大于或等于0.015时，称为湿陷性黄土，当湿陷系数小于0.015时，称非湿陷性黄土。

黄土受水浸湿后，在土的自重压力下发生湿陷的，称为自重湿陷性黄土，在土的自重压力下不发生湿陷的，称为非自重湿陷性黄土。

渗透溶滤变形是指黄土在荷重及渗透水长期作用下，由于盐类溶滤及土中孔隙继续被压密而产生的垂直变形，实际上是湿陷变形的继续，一般很缓慢，在水工建筑物地基是常见的。

黄土在荷重作用下，受水浸湿后开始出现湿陷的压力，称为湿陷起始压力。黄土湿陷试验对房屋地基来说，主要是测定自重湿陷系数、起始压力和规定压力下的湿陷系数，而对水工建筑物来说，主要是测定施工和运用阶段相应的湿陷性指标，包括本试验的所有内容。

15.1.5 稳定标准。黄土粘性机理与粘土不同，例如水源来自河流、渠道、塘库则自上而下，若是地下水位上升则自下而上。黄土的变形稳定标准规定为每小时变形量不大于0.01mm。对于渗透溶滤变形，由于变形特性除粒间应力引起的缓慢塑性变形以外，也取决于长期渗透时盐类溶滤作用，故规定3d的变形量不大于0.01mm。

15.2 湿陷系数试验

15.2.1 浸水压力和湿陷系数是划分湿陷等级的主要指标，为了对比地基优劣情况，需要在同一条件即规定某一浸水压力下求得湿陷系数。本次修改时，浸水压力是根据现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GBJ 25中的规定。而水工建筑物的地基，必须考虑土体的压力强度与结构强度被破坏的作用，分级加荷至浸水时的压力应是恰好代表土层中部断面上所受的实际荷重。在实际荷重下沉降稳定后，根据工程实际情况用自上而下或自下而上的方式，使试样浸水，确定土的湿陷变形。

15.3 自重湿陷系数试验

15.3.1 土的饱和自重压力应分层计算，以工程地质勘察分层为依据，当工程未提供分层资料时，才允许按取样深度和试样密度粗略的划分层次。

饱和自重压力大于50kPa时，应分级施加，每级压力不大于50kPa。每级压力时间视变形情况而定，为使试验时有个参考，本条文中规定不小于15min，参考原冶金部规程。

15.4 溶滤变形系数试验

15.4.1 溶滤变形系数是水工建筑物施工和运用阶段所要求的湿陷性指标。一般在实际荷重下进行试验，浸水后长期渗透求得溶滤变形。

15.5 湿陷起始压力试验

15.5.1 湿陷起始压力利用湿陷系数和压力关系曲线求得。测定湿陷起始压力(或不同压力下的湿陷系数)国内外都沿用单线、双线两种方法。从理论上和试验结果来说，单

线法比双线法更适用于黄土变形的实际情况，如果土质均匀可以得出良好的结果。双线法简便，工作量少，但与变形的实际情况不完全符合，为与现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GBJ 25一致，本标准改成单线法、双线法并列，供试验人员根据实际情况选用。进行双线法时，保持天然湿度施加压力的试样，在完成最后一级压力后仍要求浸水测定湿陷系数，其目的在于与浸水条件下最后一级压力的湿陷系数比较，以便二者进行校核。

16 三轴压缩试验

16.1 一般规定

16.1.2 三轴压缩试验根据排水情况不同分为三种类型：即不固结不排水剪(UU)试验、固结不排水剪(CU)测孔隙水压力(\overline{CU})试验和固结排水剪(CD)试验，以适应不同工程条件而进行强度指标的测定。

16.1.3 本标准规定三轴压缩试验必须制备3个以上性质相同的试样，在不同周围压力下进行试验。周围压力宜根据工程实际确定。在只要求提供土的强度指标时，浅层土可采用较小压力50、100、200、300kPa，10m以下采用100、200、300、400kPa。

16.2 仪器设备

16.2.1 原标准将仪器设备列入不固结不排水试验，考虑到其他类型试验使用仪器设备相同，而安装试样等有差别，故将仪器设备抽出单列一节。

应变控制式三轴仪中的加压设备和测量系统均没有规定采用何种方式，因为三轴仪生产至今在不断改进，前后生产的形式只要符合试验要求均可采用。

16.2.2 试验前对仪器必须进行检查，以保证施加的周围压力能保持恒压。孔隙水压力量测系统应无气泡，保证测量准确度。仪器管路应畅通，但无漏水现象。本试验中规定橡皮膜用充气方法检查，亦允许使用其他方法检查。

16.3 试样制备和饱和

16.3.1 三轴压缩试验试样制备和饱和与其他力学性试验的试样制备不完全相同，因为试样采用圆柱体，有其一套制样设备，另外有特制的饱和器。3种类型试验均有试样制备和饱和的问题，为此，抽出单列一节。

试样的尺寸及最大允许粒径是根据国内现有的三轴仪压力室尺寸确定的。国产的三轴仪试样尺寸为 39.1mm，61.8mm和 101mm，但从国外引进的三轴仪试样尺寸最小的为 35mm，故本条文规定试样直径为 35—101mm。试样的最大允许粒径参考国内外的标准，规定为试样直径的1/10及1/5，以便扩大适用范围。

16.3.2、16.3.3 试样制备。原状试样制备用切土器切取即可。对扰动土试样可以采用压样法和击样法。压样法制备的试样均匀，但时间较长，故通常采用击样法制备，击样法制备时建议击锤的面积应小于试样的面积。击实分层是为使试样均匀，层数多，效果好，但分层过多，一方面操作麻烦，另一方面层与层之间的接触面太多，操作不注意会影响土的强度，为此，本条文规定：粉土为3~5层，粘土为5~8层。

16.3.5 原状试样由于取样时应力释放，有可能产生孔隙中不完全充满水而不饱和，试验时采用人工方法使试样饱和，扰动土试样也需要饱和。饱和方法有抽气饱和、水头饱和、反压力饱和，根据不同的土类和要求饱和程度而选用不同的方法。

当采用抽气饱和和水头饱和试样不能完全饱和时，在试验时应对试样施加反压力。反压力是人为地对试样同时增加孔隙水压力和周围压力，使试样孔隙内的空气在压力下溶解于水，对试样施加反压力的大小与试样起始饱和度有关。当起始饱和度过低时，即使施加很大的反压力，不一定能使试样饱和，加上受三轴仪压力的限制，为此，当试样起始饱和度低时，应首先进行抽气饱和，然后再加反压力饱和。

16.4 不固结不排水剪试验

16.4.1 本试验在对试样施加周围压力后，即施加轴向压力，使试样在不固结不排水条件下剪切。因不需要排水、试样底部和顶部均放置不透水板或不透水试样帽，当需要测定试样的初始孔隙水压力系数或施加反压力时，试样底部和顶部需放置透水板。

16.4.2 轴向加荷速率即剪切应变速率是三轴试验中的一个重要问题，它不仅关系到试验的历时，而且也影响成果，不固结不排水剪试验，因不测孔隙水压力，在通常的速率范围内对强度影响不大，故可根据试验方便来选择剪切应变速率，本条文规定采用每分钟应变0.5%~1.0%。

16.4.6 破坏标准的选择是正确选用土的抗剪强度参数的关键；由于不同土类的破坏特性不同，不能用一种标准来选择破坏值。从实践来看，以主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)的峰值作为破坏标准是可行的，而且易被接受，然而有些土很难选择到明显的峰值，为了简便，主应力差无峰值时采用应变15%时的主应力差作为破坏值。

16.5 固结不排水剪试验

16.5.1 为加快固结排水和剪切时试样内孔隙水压力均匀，规定在试样周围贴湿滤纸条，通常用上下均与透水板相连的滤纸条，如对试样施加反压力，宜采用间断式(滤纸条上部与透水板间断1/4或试样中部间断1/4)的滤纸条，以防止反压力与孔隙水压力测量直接连通。滤纸条的宽度与试样尺寸有关。对直径39.1mm的试样，一般采用6mm宽的滤纸条7~9条；对直径61.8mm和101mm的试样，可用8~10mm宽的滤纸条9~11条。

在试样两端涂硅脂可以减少端部约束，有利于试样内应力分布均匀，孔隙水压力传递快，国外标准将此列入条文，国内也有单位使用，为使试验时有所选择，以便积累资料和改进试验技术，本条文编制时考虑这一内容，并规定测定土的应力应变关系时，应该涂硅脂。

16.5.2 排水固结稳定判别标准有两种方法：一种是以固结排水量达到稳定作为固结标准；另一种是以孔隙水压力完全消散作为固结标准。在一般试验中，都以孔隙水压力消散度来检验固结完成情况，故本条文规定以孔隙水压力消散95%作为判别固结稳定标准。

16.5.3 剪切时，对不同的土类应选择不同的剪切应变速率，目的是使剪切过程中形成的孔隙水压力均匀增长，能测得比较符合实际的孔隙水压力。在三轴固结不排水剪试验中，在试样底部测定孔隙水压力，在剪切过程中，试样剪切区的孔隙水压力是通过试样或滤纸条逐渐传递到试样底部的，这需要一定时间。剪切应变速率较快时，试样底部的孔隙水压力将产生明显的滞后，测得的数值偏低。由于粘土和粉土的剪切速率相差较大，故本条文对粘土和粉土分别作规定。

16.5.4~16.5.6 试样固结后的高度及面积可根据实际的垂直变形量和排水量两种方法计算，因为在试验过程中，装样时有剩余水存在，且垂直变形也不易测准确，为此，本标准采用根据等向应变条件推导而得的公式，并认为饱和试样固结前后的质量之差即为体积之差，剪切过程中的校正面积按平均断面积计算剪损面积。

16.5.10~16.5.14 固结不排水剪试验的破坏标准除选用主应力差的峰值和轴向应变15%所对应的主应力差作为破坏值外，增加了有效主应力比的最大值和有效应力路径的特征点所对应的主应力差作为破坏值。以有效主应力比最大值作为破坏值是可以理解的，也符合强度定义。而应力路径的实质是应力圆顶点的轨迹。应用有效应力路径配合孔隙水压力的变化进行分析，往往可以对土体的破坏得到更全面的认识。整理试验成果能较好地反映试样在整个过程中的剪胀性和超固结程度。有效应力路径和孔隙水压力变化曲线配合使用，还可以验证固结不排水剪试验和排水剪试验的成果。为此，将应力路

径线上的特征点作为选择破坏值的一种方法。

16.6 固结排水剪试验

16.6.1 固结排水剪试验是为了求得土的有效强度指标,更有意义的是测定土的应力应变关系,从而研究各种土类的变形特性。为使试样内部应力均匀,应消除端部约束,为此,装样时应在试样两端与透水板之间放置中间涂有硅脂的双层圆形乳胶膜,膜中心应留有1cm的圆孔排水。

固结排水剪试验的剪切应变速率对试验结果的影响,主要反映在剪切过程中是否存在孔隙水压力,如剪切速度较快,孔隙水压力不完全消散,就不能得到真实的有效强度指标。通过比较采用每分钟应变0.003%~0.012%的剪切应变速率基本上可满足剪切过程中不产生孔隙水压力的要求,对粘土可能仍有微量的孔隙水压力产生,但对强度影响不大。

16.7 一个试样多级加荷试验

16.7.1 三轴压缩试验中遇到试样不均匀或无法切取3~4个试样时,允许采用一个试样多级加荷的三轴试验。由于采用一个试样避免了试样不均匀而造成的应力圆分散,各应力圆能切于强度包线,但一个试样的代表性低于多个试样的代表性,且土类的适用性问题没有解决,为此,本条文规定一个试样多级加荷试验只限于无法切取多个试样的特殊情况下采用,并不建议替代作为常规方法采用。

16.7.2 试样剪切完后,须退除轴向压力(测力计调零),使试样恢复到等向受力状态,再施加下一级周围压力,这样可消除固结时偏应力的影响,不致产生轴向蠕变变形,以保持试样在等向压力下固结,故本条文作了退除轴向压力的规定。

一个试样多级加荷试验过程中,往往会出现前一级周围压力下的破坏大主应力大于下一级的周围压力,这样试样受到“预压力”的作用,使受力条件复杂,为消除这一影响,规定后一级的周围压力应等于或大于前一级周围压力下试样破坏时的大主应力。

试样的面积校正与多个试样试验方法相同。

16.7.3 固结不排水剪试验,试样在每级周围压力下固结,为使试样恢复到等向固结状态,必须退去上一级剪切时施加的轴向压力。

试样的面积校正,应按分级计算方法进行,即第一级周围压力下试样剪切终了时的状态作为下一级周围压力下试样的初始状态。本条文提到的计算规定,是指本标准第16.5.6条计算公式中的A,应为本级周围压力下固结后试样的计算面积, ϵ_1 为本级压力下的剪切变形(不累计)。

17 无侧限抗压强度试验

17.0.1 无侧限抗压强度是试样在侧面不受任何限制的条件下承受的最大轴向应力。试验的适用范围以往规定为“能切成圆柱状,且在自重作用下不发生变形的饱和软粘土”。美国ASTM标准规定“适用于那些具有足够粘性,而允许在无侧限状态下进行试验的饱和粘性土”。因为无侧限抗压强度试验的主要目的是快速取得土样抗压强度的近似定量值。英国BS1377标准规定“适用于饱和的无裂隙的粘性土”。为此,本条文的适用范围规定为饱和粘性土,但需具有两个条件:一个是在不排水条件下,即要求试验时有一定的应变速率,在较短的时间内完成试验;另一个是试样在自重作用下能自立不变形,对塑性指数较小的土加以限制。

17.0.4 本试验明确规定应变速率和剪切时间,目的是针对不同试样,控制剪切速率,防止试验过程中试样发生排水现象及表面水分蒸发。

测定土的灵敏度是判别土的结构受扰动对强度的影响程度,因此,重塑试样除了不具有原状试样的结构外,应保持与原状试样相同的密度和含水率。天然结构的土经重塑

后,它的结构粘聚力已全部消散,但放置一段时间后,可以恢复一部分,放置时间愈长,恢复程度愈大,所以需要测定灵敏度时,重塑试样试验应立即进行。

17.0.8 试样受压破坏时,一般有脆性破坏及塑性破坏两种,脆性破坏有明显的破坏裂面,轴向压力具有峰值,破坏值容易选取,对塑性破坏的试样,应力无峰值,选取应变为15%的抗压强度为破坏值,与三轴压缩试验一致,但试验应进行到应变达20%。重塑试样的取值标准与原状试样相同即峰值或15%轴向应变所对应的轴向应力为无侧限抗压强度。

18 直接剪切试验

18.1 慢剪试验

18.1.1 直接剪切试验是最直接的测定抗剪强度的方法。仪器结构简单,操作方便。由于应力条件和排水条件受仪器结构的限制,国外仅用直剪仪进行慢剪试验。本标准规定慢剪试验是主要方法,并适用于细粒土。

18.1.2 采用应变控制式直剪仪,为适应不同试验方法的需要,宜配置变速箱和电动剪切装置,便于试验。

18.1.3 关于固结稳定标准。考虑到不同土类的固结稳定时间不同,因此,本条文规定对粘土和粉土采用垂直变形每小时不大于0.005mm为稳定标准。

慢剪试验的剪切速率应保证在剪切过程中试样能充分排水,测得的慢剪强度指标稳定,以往资料表明,剪切速率在0.017~0.024mm/min范围内,试样能充分排水,为此本条文规定采用0.02mm/min的剪切速率。也可用本条文式(18.1.3)估算。

为绘制完整的剪应力与剪切位移的关系曲线,易于确立破坏值,剪切过程中测力计读数有峰值时,应继续剪切至剪切位移达4mm,测力计无峰值时,应剪切至剪切位移达6mm。

18.2 固结快剪试验

18.2.1 由于仪器结构的限制,无法控制试样的排水条件,仅以剪切速度的快慢来控制试样的排水条件,实际上对渗透性大的土类还是要排水的,测得的强度参数值就偏大,为此,本条文规定渗透系数小于 10^{-6} cm/s的土类,才允许利用直剪仪进行固结快剪试验测定土的固结快剪的强度参数。对渗透系数大于 10^{-6} cm/s的土应采用三轴仪进行试验。

18.2.3 固结快剪试验的剪切速率规定为0.8mm/min,要求在3~5min内剪损,其目的是为了在剪切过程中尽量避免试样有排水现象。

18.3 快剪试验

18.3.1 快剪试验适用于土体上施加荷重和剪切过程中都不发生固结和排水的情况,这一点在直剪仪是很难达到的。为此,只能对土类加以限制,仅适用于渗透系数小于 10^{-6} cm/s的细粒土。

18.3.3 快剪试验的剪切速率规定为0.8mm/min,要求在3~5min内剪损,实际上即使加快速率也难免排水,对于渗透系数大于 10^{-6} cm/s的土类,应在三轴仪上进行。

18.4 砂类土的直剪试验

18.4.3 影响砂土抗剪强度除颗粒大小、形状外,试样的密实度是主要因素,为此,制备试样时,同一组的密度要求尽量相同。

砂土的渗透性较大,剪切速率对强度几乎无影响,因此,可采用较快的剪切速率。

19 反复直剪强度试验

19.0.1 反复直剪强度试验是测定试样残余强度。残余强度是指粘性土试样在有效应力作用下进行排水剪切,当强度达到峰值强度以后,随着剪切位移的增大,强度逐渐减小,

最后达到稳定值。残余强度的测定是随着具有泥化夹层的地基工程、硬裂隙粘土坡的长期稳定、古滑坡地区的工程研究而提出的，故本条文规定适用于粘土和泥化夹层。

19.0.2 测定残余强度的仪器除直剪仪外，还有环剪仪等，目前国内测定该项指标的仪器尚少，常用直剪仪进行排水反复直剪强度试验。本条文采用应变控制式反复直剪仪，即在直剪仪上增加反推装置、变速装置和可逆电动机。

19.0.3 测定土的残余强度，制备试样时要求软弱面或泥化夹层处于试样高度的中部，即正好是剪切面，目的是测得符合工程实际情况的强度值。

测定土的残余强度要求在剪切过程中土中孔隙水压力得到完全消散，因此，必须采用排水剪，且剪切速率要求缓慢。国内曾先后对粘土、粉质粘土进行了不同剪切速率的对比试验，得出高液限粘土宜采用0.02mm/min，低液限粘土宜采用0.06mm/min的剪切速率。肯尼(Kermey)曾采用0.017~0.024mm/min的速率在直剪仪上进行，并指出，在此剪切速率范围内测得的强度值变化不大。日本曾用单面直剪仪对“丸の内粘土”用7种不同的剪切速率进行试验，试验表明，当剪切速率小于0.027mm/min时，抗剪强度稳定。国外测定残余强度的最快速率均小于0.06mm/min。根据以上资料，本条文规定粘土采用0.02mm/min，粉土采用0.06mm/min的剪切速率。反推速率要求不严格，只是复位，不测剪应力，故规定为0.6mm/min。

残余强度的稳定值的基本要求是剪切面上颗粒充分定向排列。采用环剪仪进行试验时，剪切至剪应力稳定即可停止试验，而采用反复直剪试验时，强度是随着剪切次数的增加而逐渐降低，颗粒逐渐达到定向排列，最后强度达到稳定值。斯开普顿(Skempton)对伦敦粘土试样剪切6次获得残余强度，他认为当强度达到峰值后，继续剪切到位移达25~50mm可降低到稳定值。诺布尔(H.L.Noble)在直剪仪上以0.004mm/min的速率进行试验，每次剪切2.5mm，反复剪10~15次，总位移达50~75mm，可达到稳定值。国内有单位以0.025mm/min的速率反复剪切，试验结果表明，不同颗粒组成的试样，所需要的总位移是不一样的，一般讲粘粒含量大的试样，需要的总位移量小些，反之亦然，粉土一般需要40~48mm，粘土24~32mm，为此，本条文除规定最后二次剪切时测力计读数接近外，对粉质粘土要求总剪切位移量达40~50mm，粘土总剪切位移量达30~40mm。

19.0.5 关于试样面积的校正。用直剪仪测定土的残余强度时，由于每次剪切位移较大，上半块试样与仪器下盒铜壁边缘接触的部分随着剪切位移增加而增大，剪切过程中所测的剪应力包括了试样与试样间，试样与仪器盒之间两部分，根据比较试验资料，以仪器盒与土的摩擦代替土与土的摩擦所产生的误差不大，故一般可不作校正，本条文中没有考虑校正，若遇到某些土类影响较大，则参考有关资料进行校正。

20 自由膨胀率试验

20.0.1 本试验的目的是测定粘土在无结构力影响下的膨胀潜势，初步评定粘土的胀缩性。自由膨胀率是反映土的膨胀性的指标之一，它与土的粘土矿物成分、胶粒含量、化学成分和水溶液性质等有着密切的关系。自由膨胀率是指用人工制备的烘干土，在纯水中膨胀后增加的体积与原体积之比，用百分数表示。

20.0.2 国内各工厂生产的量筒，刻度不够准确，对计算成果影响甚大，故规定试验前必须进行刻度校正。

20.0.3 自由膨胀率试验中的试样制备是非常重要的，首先是土样过筛的孔径大小，用不同孔径过筛的试样进行比较试验，其结果是过筛孔径越小，10mL容积的土越轻，自由膨胀率越小。不同分散程度也会引起粘粒含量的差异，为了取得相对稳定的试验条件，本条文规定采用0.5mm过筛，用四分对角法取样，并要求充分分散。

试样用体积法量取，紧密或疏松会影响自由膨胀率的大小，为消除这个影响因素，

规定采用漏斗和支架，固定落距，一次倒入的方法，并将量杯的内径统一规定为20mm，高度略大于内径，便于在装土、刮平时避免或减轻自重和振动的影响。

搅拌的目的是使悬液中土粒分散，充分吸水膨胀，搅拌的方法有量筒反复倒转和上下来回搅拌两种。前者操作困难，工作强度大；后者有随搅拌次数增加，读数增大的趋势，故本条文规定上下各搅拌10次。

粘土颗粒在悬液中有时有长期混浊的现象，为了加速试验，采用加凝聚剂的方法，但凝聚剂的浓度和用量实际上对不同土类有不同反映，为了增强可比性，本条文统一规定采用浓度为5%的氯化钠溶液5mL。

21 膨胀率试验

21.1 有荷载膨胀率试验

21.1.1 有荷载膨胀率是指试样在特定荷载及有侧限条件下浸水膨胀稳定后试样增加的高度(稳定后高度与初始高度之差)与试样初始高度之比，用百分比表示。

21.1.2 仪器在压力下的变形会影响试验结果，应予校正。对于固结仪可利用按本标准第14.1.3条规定率定的校正曲线。

21.1.3 有荷载膨胀率试验会发生沉降或胀升，安装量表时要予以考虑。

一次连续加荷是指将总荷重分几级一次连续加完，也可以根据砝码的具体条件，分级连续加荷，目的是为了为了使土体在受压时有个时间间歇，同时避免荷重太大产生冲击力。

为保持试样始终浸在水中，要求注水至试样顶面以上5mm。为了便于排气，采取逐步加水。同一种试样，荷载越大，稳定越快；无荷载时，膨胀稳定越慢。对不同试样，则反映出膨胀率越大，稳定越慢，历时越长，因此，本条文规定2h的读数差值不超过0.01mm，作为稳定标准是可行的，但要防止因试样含水率过高或荷载过大产生的假稳定，因此，本条文规定测定试样试验前、后的含水率、计算孔隙比，根据计算的饱和度推断试样是否已充分吸水膨胀。

21.2 无荷载膨胀率试验

21.2.1 无荷载膨胀率试验是指试样在无荷载有侧限条件下浸水后的膨胀量与初始高度之比，用百分比表示。

21.2.3 试样尺寸对膨胀率是有影响的。在统一的膨胀稳定标准下，膨胀率随试样的高度增加而减小，随直径的增大而增大。为了在无荷载条件下试验时间不致拖得太长，选用高度为20mm的试样。

膨胀率与土的自然状态关系非常密切，初始含水率、干密度都直接影响试验成果，为了防止透水石的水分影响初始读数，要求先将透水石烘干，再埋置在切削试样剩余的碎土中1h，使其大致具备与试样相同的湿度。

无荷载膨胀率试验中，有些规程规定不放滤纸，以排除滤纸变形对试验结果的影响，但有时透水石会沾带试样表层土，使试验后物理指标的测定受到影响，国内有单位采用薄型滤纸(似打字纸中间的垫纸)，在不同压力下量测其浸水前后的变形量，结果见表5。

表5 滤纸浸水前后的变形量

压力(kPa)	50	100	200		400		
浸水前百分表读数(mm)	0.129	0.089	0.169	0.009	0.159	0.319	0.249
浸水后百分表读数(mm)	0.129	0.090	0.189	0.011	0.159	0.319	0.250
浸水前后百分表读数差值(mm)	0	0.001	0	0.002	0	0	0.001

由表可见这种滤纸浸水前后的变形量相差很小，可以忽略对试验的影响。

稳定标准规定每隔2h百分表读数差值不大于0.01mm，与有荷载膨胀试验一致。

22 膨胀力试验

22.0.1 膨胀力是粘土遇水膨胀而产生的内应力。在伴随此力的解除时，土体发生膨胀，从而使土基上建筑物与路面等遭受到破坏。根据实测，当不允许土体发生膨胀时，某些粘土的膨胀力可达1600kPa，所以对膨胀力的测定是有现实意义的。在室内测定膨胀力的方法和仪器有多种，国内外采用最多的是以外力平衡内力的方法，即平衡法。本条文亦规定采用平衡法。但在现场应尽量接近原位情况。

22.0.3 平衡法的允许变形标准，在平衡法试验中，平衡不及时或加了过量的压力都会影响到土的潜能势的发挥。表6中试验资料表明，膨胀力随允许膨胀量的增大而增加，当允许膨胀量由0.01增至0.1mm时，膨胀力将提高50%左右。为了提高试验准确度，允许膨胀量应限制到0.005mm。但由于仪器本身的变形和量测准确度不够，引起操作上的困难，所以本条文规定允许膨胀量为0.01mm。

试验资料表明，达到最大膨胀力的时间并不长，浸水后在短时间内变化较大，以后则趋于平缓，为此规定加荷平衡后2h不再膨胀作为稳定是可行的。

表6 试样允许膨胀量与膨胀力的关系

允许变形值 (mm)	密度 (g/cm ³)	孔隙比	试验前 含水率 (%)	试验后 含水率 (%)	膨胀力 (kPa)
0.01	2.0	0.61	16.9	22.3	119
0.05	2.0	0.61	16.9	22.3	140
0.10	2.0	0.61	16.8	22.1	182
0.20	2.0	0.61	16.6	21.9	208

23 收缩试验

23.0.1 收缩试验的目的是测定原状土试样和击实土试样在自然风干条件下的线缩率、体缩率、缩限及收缩系数等指标。

23.0.3 扰动土的收缩试验，分层装填试样时，要切实注意不断挤压拍击，以充分排气。否则不符合体积收缩等于水分减小的基本假定，而使计算结果失真。

23.0.7 随着土体含水率的减小，土的收缩过程大致分为三个阶段，即直线收缩阶段()，其斜率为收缩系数；曲线过渡阶段()，随土质不同，曲率各异；近水平直线阶段()，此时土体积基本上不再收缩。

24 冻土密度试验

24.1 一般规定

24.1.1、24.1.2 冻土密度是冻土的基本物理指标之一。它是冻土地区工程建设中计算土的冻结或融化深度、冻胀或融沉、冻土热学和力学指标、验算冻土地基强度等需要的重要指标。测定冻土的密度，关键是准确测定试样的体积。本条文规定的4种方法是目前常用的方法。

24.1.3 考虑到国内不少单位没有低温试验室，故规定无负温环境时应保持试验过程中试样表面不得发生融化，以免改变冻土的体积。

24.2 浮称法

24.2.1 浮称法是根据物体浮力等于排开同体积液体的质量这一原理，通过称取冻土试样在空气和液体中的质量算出浮力，并换算出试样体积，求得冻土密度，因此，对于不同土质、结构、含冰状况的各类冻土均可采用。

24.2.3 浮称法试验中所用的液体常用的是煤油，有时用0℃的纯水。为避免液体温度与试样温度差过大造成试样表面可能发生融化，煤油温度应接近试样温度；使用0℃纯水时应快速测定。

煤油的密度与温度的关系较大，也与其品种有关，故所用的煤油应进行不同温度下的密度率定。

24.2.7 冻土的基本构造有整体状、层状和网状，不同构造的冻土，均匀性差别较大。因此，冻土密度平行试验的差值较之融土密度平行试验的差值要大。整体状冻土的结构一般比较均匀，故要求平行试验差值为 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，与融土试验的规定一致，而层状和网状构造冻土的结构均匀性差，平行试验的差值往往大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，此时，可以提供试验值的范围。

24.3 联合测定法

24.3.1 由于前述冻土结构的不均匀性，用一般方法分别取试样测定密度和含水率时，往往出现二个指标不协调。例如用分别测定的含水率和密度指标计算出的饱和度，有时大于100%，这就与指标的物理意义相矛盾。联合测定法是采用一个体积较大的试样同时测定密度和含水率，从而解决了上述分别测定中存在的问题。

整体状构造的粘质冻土，特别是高塑性粘土在水中不易搅散，土孔隙中的气体不能完全排出，因而影响试验准确度，故规定本试验适用于砂质冻土和层状、网状构造的冻土。

24.3.3 试验过程中，排液筒中水面的稳定对试验成果的准确度至关重要。为了做到这一点，台秤要稳固地安放在水平台面上，排液筒要放在称盘的固定位置，称重加砝码和充水排水时均应平稳，不致造成称盘上下剧烈晃动。

25 冻结温度试验

25.0.1 冻结温度是判别土是否处于冻结状态的指标。纯水的结冰温度为 0°C ，土中水分由于受到土颗粒表面能的束缚且含有化学物质，其冻结温度均低于 0°C 。土的冻结温度主要取决于土颗粒的分散度、土中水的化学成分和外加载荷。

25.0.2 本试验采用热电偶测温法，因此需要零温瓶和低温瓶。若采用贝克曼温度计分辨度为 0.05°C 、量程为 $-10\sim+20^\circ\text{C}$ ，测温，则可省略零温瓶、数字电压表和热电偶。

25.0.3 土中的液态水变成固态的冰这一结晶过程大致要经历三个阶段：先形成很小的分子集团，称为结晶中心或称生长点(germs)；再由这种分子集团生长变成稍大一些团粒，称为晶核(nuclei)，最后由这些小团粒结合或生长，产生冰晶(icecrystal)。冰晶生长的温度称为水的冻结温度或冰点，结晶中心是在比冰点更低的温度下才能形成，所以土中水冰结的时间过程一般须经历过冷、跳跃、恒定和递降4个降低(图3)。当出现跳跃时，电势会突然减小，接着稳定在某一数值，此即为开始冻结。

土中水的过冷及其持续时间主要取决于土的含水率和冷却速度。土温接近 0°C 时，土中水可长期处于不结晶状态。土温低于 0°C 且快速冷却时，过冷温度高且结束时间早。当土的含水率低于塑限后，过冷温度降低。室内试验中，当土的含水率大于塑限时，土柱端面温度控制为 -4°C ，一般过冷时间在半小时内即可结束。

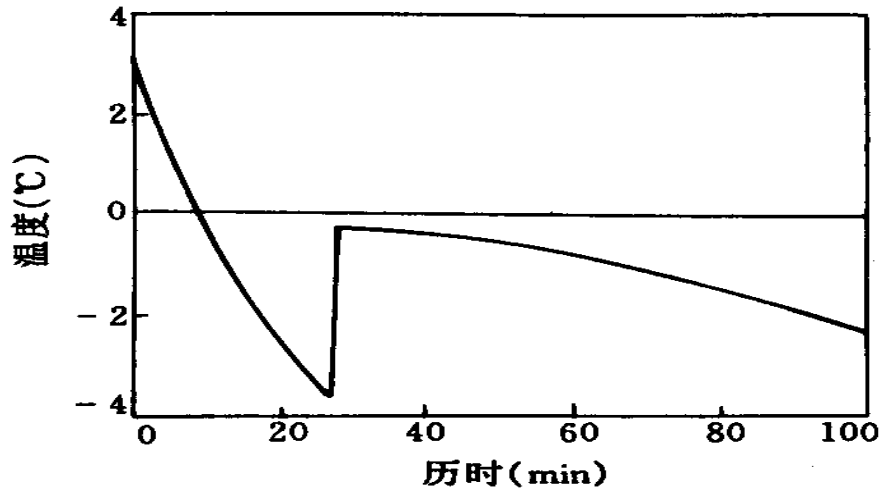


图 3 土中水冻结的时间过程

26 未冻含水率试验

26.0.1 土体冻结后并非土中所有的液态水全部冻结成冰,其中始终保持一定数量的未冻水。未冻含水率不但是热工计算的必需指标,而且是冻土物理力学性质变化的主导因子。未冻含水率主要取决于土的分散度、矿物成分、土中水的化学成分及温度和外载。对于给定土质、未冻含水率始终与温度保持动态平衡关系,即随温度升高,未冻含水率增大,随温度降低,未冻含水率减少。

26.0.5 未冻含水率的测定方法有许多种,诸如量热法、核磁共振法、时域反射计法和超声波法等。这些方法大都需要复杂而昂贵的仪器,一般单位难以采用。本试验方法是依据未冻含水率与负温为指数函数规律,采用已知含水率的试样,测定其冻结温度,推求未冻含水率,此法具有快速、简便等优点,其平行差值稍大于融土,为此纳入本试验方法标准。

27 冻土导热系数试验

27.0.3 导热系数的测定方法分两大类:稳定态法和非稳定态法。稳定态法测定时间较长,但试验结果的重复性较好;非稳定态法具有快速特点,试验结果重复性较差。因此,本试验采用稳定态法。稳定态法中,通常使用热流计法,但国产热流计的性能欠佳,故采用比较法,以石蜡作为标准原件,可认为其导热系数是稳定的。

操作中应注意铜板平整且接触紧密,否则会影响试验结果。

基于稳定态比较法应遵循测点温度不随时间而变化的原则,但实际上很难做到测点温度绝对不变,因此规定连续3次同一点测温差值小于0.1,则认为已满足方法原理。

28 冻胀量试验

28.0.1 土体不均匀冻胀是寒区工程大量破坏的重要因素之一。因此,各项工程开展之前,必须对工程所在地区的土体作出冻胀敏感性评价,以便采取相应措施,确保工程构筑物的安全可靠。因为原状土和扰动土的结构差异较大,为对冻胀敏感性作出正确评价,试验一般应采用原状土进行。若条件不允许,非采用扰动土不可时,应在试验报告中予以说明。本试验方法与目前美国、俄罗斯等国所用方法基本一致。所得数据用于评价该种土的冻胀量略偏大,从工程设计上偏安全。

28.0.3 土体冻胀量是土质、温度和外载条件的函数。当土质已确定且不考虑外载时,温度条件就至关重要。其中起主导作用的因素是降温速度。冻胀量与降温速度大致呈抛

物线型关系。考虑到自然界地表温度是逐渐下降的,在本试验中规定底板温度粘土以0.3/h、砂土以0.2/h的速度下降,是照顾各类土的特点并处于试验所得冻胀量较大的情况。

28.0.6 在特定条件下,土的冻胀量是确定的,但是在土的冻胀性评价方法和等级划分标准上,目前国内外不尽一致,例如俄罗斯国家建筑委员会颁布的标准(OCT 28622—90)按表7划分;美国寒区研究和工程实验室是规定冻结速度为1.3cm/d的条件下,用平均冻胀速度按表8进行分级;我国国家现行标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JTJ118的分级如表9;国家现行标准《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL211则按冻胀量进行划分(见表10)。

表7 冻胀性分级表 (OCT 28622—90)

冻胀率(%)	1	1 < 4	4 < 7	7 < 10	> 10
冻胀等级	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀

表8 冻胀性分级表(美国寒地研究和工程实验)

平均冻胀速度 (mm/d)	$V_v < 0.5$	$0.5 < V_v < 2.0$	$2.0 < V_v < 4.0$	$4.0 < V_v < 8.0$	$V_v > 8.0$
冻胀等级	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀

表9冻胀性分级表 (《冻土地区建筑地基基础设计规范》)

冻胀率(%)	1	1 < 3.5	3.5 < 6	6 < 12	> 12
冻胀等级	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀

表10 冻胀性分级表 (《水工建筑物抗冰冻设计规范》)

冻胀性级别					
冻胀量 h(mm)	$h < 20$	$20 < h < 50$	$50 < h < 120$	$120 < h < 220$	$h > 220$

分析国内外现有的冻胀划分方法和标准,并考虑到冻胀率与冻胀量之间存在 $= h/H_f$ 的关系,可以根据室内试验所得的冻胀率按天然土层的冻深换算冻胀量,故本条文规定可按冻胀率作为评价指标,在数值上暂取与国家现行标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JTJ118一致。

29 冻土融化压缩试验

29.1 一般规定

29.1.1 冻土融化时在荷载作用下将同时发生融化下沉和压密。在单向融化条件下,这种沉降量完全符合普通土力学中的一维沉降关系。融化下沉是在土体自重作用下发生的,而压缩沉降则与外部压力有关。目前国内外在进行冻土融化压缩试验时首先是在微小压力下测出冻土融化后的沉降量,计算冻土的融沉系数,然后分级施加荷载测定各级荷载下的压缩沉降,并取某压力范围计算融化压缩系数。由此可以计算冻土融化压缩的总沉降量。已有试验证明,在一定压力范围内,孔隙比与外压力基本呈线性关系,这个压力值大致为0~0.4MPa,因此,在一般实际应用和试验条件下,在这个压力范围内按线性关系确定的融化压缩系数可以有足够的精度。

29.2 室内冻土融化压缩试验

29.2.3 冻土融化压缩试验的试样尺寸,国外取高度(h)与直径(d)之比 $h/d = 1/2$,最小直径取5cm,对于不均匀的层状和网状构造的粘土,则根据其构造情况加大直径,使 $h/d = 1/3 \sim 1/5$ 。国内曾采用的试样环面积为45cm²、78cm²,试样高度有2.5cm、4cm。考虑

到便于采用本条文中固结仪改装融化压缩仪，故规定可取试验环直径与固结仪大直径(7.98cm)一致，高度则考虑冻土构造的不均匀性，取4cm，这样高度与直径之比基本为1:2。

为了模拟天然地基土的融化过程，在试验过程中使试样满足单向融化至为重要。为此，除采用循环热水单向加热外，试样环应采用导热性较低的非金属材料(胶木、有机玻璃等)制作，并在容器周围加保温套，试验时在负温环境下或较低室温下进行，以保证试样不发生侧向融化。

29.2.5 试验中当融化速度超过天然条件下的排水速度时，融化土层不能及时排水，使融化下沉发生滞后现象。当遇到试样含冰(水)率较大时，若融化速度过快，土体常发生崩解现象，使土颗粒与水分一起挤出，导致试验失败或融沉系数 a_0 值偏大。因此，循环热水的温度应加以控制。根据已有试验，本条文规定水温控制在40~50℃。加热循环水应畅通，水温要逐渐升高。当试样含冰(水)率大或试验环境温度较高时，可适当降低水温，以控制4cm高度的试样在2h内融化完为宜。

测定融沉系数 a_0 值时，本条文规定施加1kPa的荷载。这主要是考虑克服试样与环壁之间的摩擦力。而且，冻土在融化过程中单靠自重下沉的过程往往很长，所以，施加这一小量荷载可以加快下沉速度，又不致对融化土骨架产生过大的压缩，对 a_0 的影响甚微。

29.3 现场冻土融化压缩试验

29.3.1 本试验与暖土荷载试验方法相似。这种方法可适用于除漂石($d > 200\text{mm}$)以外的各种冻土，可以逐层进行试验，取得建筑场地预计融化深度内冻土的融化压缩性质即融沉系数和压缩系数，但由于这种方法试验设备和操作比较复杂，劳动强度大，因此，一般只对较重要的工程或室内试验难于进行的含巨粒土、粗粒土和富冰冻土才采用这种方法。

29.3.4 传压板面积小于 5000cm^2 时，试验误差较大，故规定不宜小于此面积。形状可为圆形(直径798mm)或正方形(边长707mm)。

30 酸碱度试验

30.0.1 酸碱度通常以氢离子浓度的负对数，即pH表示。pH值的测定可用比色法、电测法，但比色法不如电测法方便、准确。因此，本条文选用电测法。电测法实际上是一种以pH值标记的电位计，故称为酸度计。

30.0.2 酸度计是由选择性玻璃电极、甘汞参比电极和二次仪表电位计组成。作为电极产品玻璃电极和甘汞电极一般是分开出售，复合电极是将这两种电极合并为一支电极，只是形式不同。其测定原理实际上是一样的。

30.0.3 标准缓冲溶液，如果能够买到市售pH标准缓冲试剂，可按说明书配制以代替本条文的pH标准缓冲溶液的配制。

30.0.5 试样悬液的制备，土水比例大小对测定结果有一定影响。土水比例究竟用多大适宜，目前尚无一致结论。国内外以用土水比例1:5较多，故本条文也采用1:5，振荡3min，静置30min。

31 易溶盐试验

31.1 浸出液制取

31.1.3 用水浸提易溶盐时，土水比例和浸提时间的选择，是力求将易溶盐从土中完全溶解出来，而又能尽量减少中、难溶盐的溶解。关于土水比例，根据各种盐类在水中溶解度不同，合理地控制土水比就有可能将易溶盐与中、难溶盐分开，即土水比例愈小，中、难溶盐被浸出的可能性愈小。如有采用1:2.5、1:1等土水比例的，但土水比愈小，会给操作带来困难愈大。因此，国内普遍选用1:5的土水比例。关于浸提时间，在同一

土水比例下，浸提时间不同，试验结果亦有差异。浸提时间愈长，中、难溶盐被溶解的可能性愈大，土粒和水溶液间离子交换反应亦显著。所以浸提时间宜短不宜长。研究表明，浸提时间在2~3min即可。为了统一试验条件，本条文采用1:5土水比例，浸提时间为3min。

浸出液过滤，在试验中经常遇到过滤困难，特别是粘土，需要很长时间才能获得需要的滤液数量，而且不易得到清澈的滤液。因此，本条文推荐采用抽气过滤方法效果较好，操作也简便，过滤速度快。如果滤液混浊，则应改用离心或超级滤心过滤。

31.2 易溶盐总量测定

31.2.4 易溶盐总量测定，本条文采用烘干法。由于此法不需特殊仪器设备，测定结果比较精确，故在室内试验中应用广泛。国内外有资料推荐电导法，虽然简单快速，但是易溶盐属多盐性混合物，其摩尔电导率因盐性不同而异。因此，测得电导率与实际含量，因盐性不定比例而存在着不稳定的差异，故本标准未列。

加2%碳酸钠(Na_2CO_3)的目的，是使钙离子(Ca^{2+})、镁离子(Mg^{2+})的硫酸盐、氯盐转化为碳酸盐以除去大量结晶水，此残渣应在180℃烘干，才能得到较稳定的试验结果。

31.3 碳酸根和重碳酸根的测定

31.3.4 碳酸根和重碳酸根的测定应在土浸出液过滤后立即进行，否则将由于大气中二氧化碳(CO_2)的侵入或浸出液pH的变化引起二氧化碳释出而影响试验结果。

本条文使用的双指示剂是采用酚酞和甲基橙指示剂，滴定终点pH值分别为8.3和4.4。目前有些单位采用混合指示剂代替甲基橙指示剂，目的是为提高滴定终点的分辨效果，但是混合指示剂的配方并不统一，因此，本条文未采用混合指示剂。

31.3.5 根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021有关土对混凝土腐蚀性判定(以mg/kg土表示)和盐渍土分类规定：盐渍土按含盐性质分类，是采用含盐质量摩尔浓度的比值进行分类的。盐渍土按含盐量分类，是采用含盐质量分数进行分类的，因此试验成果必须分别计算提供两个不同量的名称和单位。

质量摩尔浓度，过去采用计量单位是mmol/100g土，按照国家法定计量单位，单位中不得含有数值，因此，本条文采用计量单位为mmol/kg土，与现行国家标准《量和单位》GB3102.8的规定一致。

含盐量的计算为说明各数值的定义而分别列出，在实际工作中可以将公式简化，直接将数值代入。

31.4 氯根的测定

31.4.4 氯根的测定，除采用硝酸银容量法之外，还有采用硝酸汞滴定法、硫氰酸汞光度法以及近来建立的离子色谱法等。但是这些方法一般仅适用于氯根浓度较低的试样，操作也不如硝酸银容量法简便，有些还需要专门的仪器设备。因此，本条文选择被广泛采用的硝酸银容量法。

31.4.5 见本标准第31.3.5条的条文说明。

31.5 硫酸根的测定

—EDTA络合容量法

31.5.1 硫酸根常量的测定方法，最经典的是硫酸钡质量法，此方法虽然准确，但操作烦琐，设备笨重，近年逐步地已被EDTA络合容量法所替代，我国环保部门的水质监测和矿泉饮用水等均已认定EDTA络合容量法为标准方法。因此，本条文也认定此方法为常量的测定方法。

关于含盐度质量分数 B (%)按土水比为1:5计算与质量浓度 B (g/L)的关系为：

$$B : B = \frac{V_B C_B M_B \times 500}{V_S} : \frac{V_C C_B M_B \times 1000}{V_S} \quad (2)$$

$$B / B = \frac{500}{1000} = \frac{1}{2} \quad (3)$$

式中 V_B 、 C_B 、 M_B ——分别为物质B的体积、浓度和摩尔质量
(V_B : L, C_B : mmol/L, M_B : kg/mol)
 V_S ——取试液的体积(L)。

所以0.025(%)相当于0.050g/L(50mg/L)。

31.5.5 见本标准第31.3.5条的条文说明。

31.6 硫酸根的测定

—比浊法

31.6.1 低含量硫酸根的测定方法很多，其中有硫酸钡比浊法、铬酸钡光度法，原子吸收光度法、离子色谱法等。在这些方法中以比浊法最为简便，其准确性亦基本可满足这一指标的实际要求。国内多数单位的仪器设备容易满足。因此，本条文对低含量的硫酸根测定，选用硫酸钡比浊法。

31.6.5 见本标准第31.3.5条的条文说明。但比浊法测定结果是硫酸根百分含量，因此，质量摩尔浓度必须由百分含量换算而得。

31.7 钙离子的测定

31.7.1 钙的测定方法很多，但是钙的常量测定目前采用最普遍的是EDTA容量法，它具有设备简单、操作简便的特点。因此，本条文选用此方法。

31.7.3 本方法测定钙的指示剂，可用钙指示剂(Calconcarboxylic Acid)或紫尿酸铵(Murexide)，在强碱介质中与钙指示剂络合终点由红变蓝色，与紫尿酸铵络合终点由红变紫色，两者的终点指示效果，后者不如前者指示效果好，故本条文选用钙指示剂。

31.7.4 当土浸出液中镁离子(Mg^{2+})含量高时，将生成大量氢氧化镁 $[Mg(OH)_2]$ 沉淀，影响终点判别，遇此情况时，可先滴定一定量EDTA标准溶液(不得过量)后，加1 mol/L氢氧化钾(KOH)溶液，放置片刻，再加入0.5%氰化钾(KCN)和1%盐酸羟胺和指示剂，然后继续滴定至终点，可获得比较好的指示效果。

31.7.5 见本标准第31.3.5条的条文说明。

31.8 镁离子的测定

31.8.1 常量镁离子的测定方法也很多，但目前被广泛采用的为EDTA容量法，同钙一样具有快速、简便，不需专用设备的优点。因此本条文采用此方法。

31.8.4 EDTA测定镁，实际上是先测定钙、镁离子含量再减去 Ca^{++} 含量。所以，本方法为求得镁离子含量，必须同时测定钙离子的含量。测定钙、镁离子含量的指示剂，可用铬黑T(Eriochrome black T)或铬蓝黑(Eriochrome blue black)，两者的滴定终点均由红变为蓝色，但是前者比后者的终点指示更为灵敏，故本条文选用铬黑T指示剂。

31.8.5 见本标准第31.3.5条的条文说明。

31.9 钙离子和镁离子的原子吸收分光光度测定

31.9.1 低含量钙、镁离子的测定，可用原子吸收法或火焰光度计法，鉴于原子吸收分光光度计已普遍应用，成为化学分析的常规仪器，它的操作快速、简便，灵敏度又比火焰光度计法高，故本条文选用原子吸收分光光度计法。

31.9.5 见本标准第31.3.5条和第31.6.5条的条文说明。

31.10 钠离子和钾离子的测定

31.10.1 钠、钾离子的测定，以往是采用差减法计算钠、钾离子总含量，而不能将钠、

钾离子含量分开计算，同时还由于种种因素带来的误差较大，故本标准未列入。鉴于火焰光度计测定钠、钾离子的方法已得到普遍应用，该方法还具有操作简便、快速、灵敏度高，又能同时对钠、钾离子含量分开测定等优点，故本条文列入火焰光度计法。

31.10.5 见本标准第31.3.5条和第31.6.5条的条文说明。

32 中溶盐(石膏)试验

32.0.1 中溶盐含量测定，也可用EDTA容量法，该法虽然设备简单、操作快速，但难溶盐大量共存对测定有影响，故本条文仍采用经典的标准方法，酸浸提——质量法。

32.0.4 本条文是以石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)代表土中中溶盐的含量。对酸不溶物的测定未列入。如属石膏土，需要测定酸不溶物。可将本试验酸浸提过滤残渣进行烘干、称量，计算而得。

33 难溶盐(碳酸钙)试验

33.0.1 难溶盐测定除用气量法外，还可用中和法(适用于难溶盐含量高的土)和碱吸收法(适用于较精密的测定)，但这两种方法都各具有其局限性，而气量法则具有操作简便，又能满足土中难溶盐实际含量的测定范围，因而被普遍采用。故本条文选用气量法。

33.0.5 气量法的计算是以测量产生的二氧化碳体积为基础，它与测量时的温度和大气压力关系密切，本条文表33.0.5提供二氧化碳密度仅适用于大气压力大于或等于98.925kPa范围，对地处海拔高的地区，大气压力一般小于98.925kPa。遇此情况则不能用本条文式(33.0.5—1)计算，因此，本条文增列式(33.0.5—2)以满足海拔高，大气压力小于98.925kPa地区的需要。

34 有机质试验

34.0.1 有机质的测定方法很多，如有质量法、容量法、比色法、双氧水氧化法等。这些方法经过反复比较认为以重铬酸钾容量法为最好，它具有操作简便、快速、再现性好，不受大量碳酸盐存在的干扰，设备简单，适合于批量试样的试验，在土工试验中已广泛采用。

因此，本条文选用重铬酸钾容量法。但是采用此法测得有机质偏低，一般只有有机质实际含量的90%，因此，有的资料认为对测定结果应乘以1.1校正因数加以校正。也有人建议以灼烧减量估计有机质含量。但是灼烧的结果不仅烧去有机质，而且还烧去结合水和挥发性盐类，从而使测定结果偏高，偏高大小与土中存在的结合水和挥发性盐类的多少有很大关系。一般比容量法可高出数十倍不等，因此，本条文未列入。如果土中含有大量粗有机质，在一定条件下，也可考虑采用灼烧减量法。

34.0.2 有关资料介绍油浴可采用石蜡、硫酸、磷酸等，但这些介质都不理想，均具有污染环境，烟雾具有腐蚀剂刺激性，有害健康。本条文选用植物油相对地说比较安全。

34.0.3 本试验用指示剂种类有二苯胺、邻啡罗琳等。二苯胺虽然便宜，但配制麻烦，对环境污染，对健康不利，近来已广泛采用较昂贵的邻啡罗琳为指示剂。它具有易配制、安全和滴定终点易掌握等优点，故本条文采用该指示剂。

34.0.4 消煮温度范围和时间必须严格控制，这是本试验方法规定的统一条件，否则将对试验结果产生很大影响。

35 土的离心含水当量试验

35.0.1 土的离心含水当量试验是应用离心技术测定土的离心含水当量，用于近似地估算土的空气孔隙比和滞留率(或滞水能力)。本试验参照美国ASTM岩土工程试验标准编制。

35.0.3 本条文规定离心试验后称坩埚和湿土(土样表面出现自由水不允许倒掉)总质

量，而后将坩埚放入烘箱内，烘至其质量不变，再称坩埚和干土总质量，以此计算土的离心含水当量。而美国规定离心试验后将试样取出，放入铝盒后称量，这样对试样的含水率会有影响。

35.0.4 原公式中有湿滤纸和干滤纸质量，本次修改时将滤纸取掉后称量，故现公式中不计其质量。