

土力学技能 训练指导书

适用专业：房建、公路、铁道工程

编 者：郭凯玥 牛欣欣

西安铁路职业技术学院
土木工程系

土力学技能 训练指导书

适用专业：房建、公路、铁道工程

编者：郭凯玥 牛欣欣

江苏工业学院图书馆
藏书章

西安铁路职业技术学院
土木工程系

前 言

土工试验是土木工程中的重要内容之一，无论是地面上的高层建筑、重型厂房、高速公路和机场，还是地面下的铁路、车库和隧道等，这些工程建设项目都与他们赖以存在的土体有着密切关系。一方面，由于建设的需要，结构物不断趋向于高、大、重、深，要求对土的工程性质有更深更全面的了解和认识；另一方面，我国地域辽阔，自然地理环境各不相同，土的种类各种各样，土的工程性质也千变万化，因此，怎样有效地开展土工试验，如何正确地测定土的工程性质，并提供可靠的性质参数指标，对于各类工程项目的成功建设与否是至关重要的，而且也是首先必须解决的问题。因此土工试验是保证设计与研究的精确性、可靠性、代表性以及经济综合性的重要手段

本指导书为了配合土木工程等专业进行土工试验教学而编写，书中采用了国家及有关行业关于土工试验的最新规范和规程。根据土工试验的特点，本书强调了指导性和实用性，力求详细、易懂和完整。每个试验项目内容不仅有试验原理，更有详尽的操作步骤，便于学生开展和完成土工试验的全过程。通过试验使学生掌握基本的试验技能，做到理论与实践相结合，为今后工作打下良好基础。

编者

2007年5月

学生试验守则

- 一、进入试验室必须遵守试验室的规章制度，必须保持安静，不准高声谈笑，不准随地吐痰，不准乱扔纸屑杂物。
- 二、不准动用与本次试验无关的仪器设备和其他设备。
- 三、学生试验前做好预习，认真阅读试验指导书，复习有关理论基础。
- 四、试验中要认真细心观察，认真记录各种试验数据，不许抄袭他人数据，试验过程中不许擅自离开操作岗位。
- 五、试验中要注意安全，使用仪器设备要遵守操作规程，尽量节约水电和其他消耗材料。
- 六、试验过程中出现事故时，要保持镇定，迅速采取措施切断电源防止事故扩大，并注意保护现场及时向指导教师报告。
- 七、试验后请指导教师检查使用的仪器设备，清扫实验室场地经教师同意后方可离开实验室。
- 八、凡损坏仪器，设备、器具，工具或实验室材料超额消耗者主动说明原因，填写报废单或写出损坏情况报告，指导教师根据学院有关规定及时进行处理。
- 九、凡违反操作规程或擅自动用非本次实验用设备造成损坏者，由事故责任者作出书面检讨，视其认识程度和情节轻重赔偿部分或全部损失。

西安铁路职业技术学院
土木工程系

目 录

一、技能训练的项目

1、土的密度实验.....	1
2、土的含水率实验.....	3
3、土的比重实验.....	5
4、颗粒分析实验.....	7
5、界限含水率实验.....	12
6、击实实验.....	18
7、剪切实验.....	23
8、固结实验.....	25
9、渗透实验*	29

二、参考书

- 1、土工试验规程 SL237—1999 中国水利水电出版社
- 2、土工试验方法标准 GB/T50123—1999 中国计划出版社

技能训练一 土的密度实验

一) 试验目的

测定土在天然状态下单位体积的质量, 以了解土的疏密和干湿状态, 供换算土的其他物理力学性质指标和工程设计以及控制施工质量之用。

(二) 试验方法与适用范围

一般粘性土, 宜采用环刀法

易破碎, 难以切削的土, 可采用蜡封法

对于砂土与砂砾土, 可用现场的灌砂法或灌水法。

(三) 环刀法的试验

1、仪器设备

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

2、操作步骤

(1) 测出环刀的容积 V , 在天平上称环刀质量 m_1 。

(2) 取直径和高度略大于环刀的原状土样或制备土样。

(3) 环刀取土: 在环刀内壁涂一薄层凡士林, 将环刀刃口向下放在土样上, 随即将环刀垂直下压, 边压边削, 直至土样上端伸出环刀为止。将环刀两端余土削去修平 (严禁在土面上反复涂抹), 然后擦净环刀外壁。

(4) 将取好土样的环刀放在天平上称量, 记下环刀与湿土的总质量 m_2

3、计算土的密度: 按下式计算

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

4、要求: 密度试验应进行 2 次平行测定, 两次测定的差值不得大于 0.03g/cm^3 , 取两次试验结果的平均值。

5、本试验记录格式

密度试验记录表（环刀法）

工程名称_____

试验者_____

土样说明_____

计算者_____

试验日期_____

校核者_____

试样编号	土样类别	环刀号	湿土质量 (g)	体积 (cm)	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) = $\frac{(1)}{(2)}$	(4)	(5) = $\frac{(3)}{1 + 0.01(4)}$	(6)

技能训练二 土的含水率实验

(一) 试验目的

土的含水率是土在 105—110°C 下烘于恒量时所失去的水的质量和干土质量的百分比值。土在天然状态下的含水率为土的天然含水率。

试验的目的：测定土的含水量，以了解土的含水情况，供计算土的孔隙比、液性指数、饱和度和其他物理力学性质指标。

(二) 试验方法适用范围

- 1、烘干法：室内试验的标准方法，一般粘性土都可以采用。
- 2、酒精燃烧法：适用于快速简易测定细粒土的含水率。
- 3、比重法：适用于砂类土。

(三) 烘干法试验

1、仪器设备

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

2、操作步骤

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

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

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

3、计算含水量：按下式计算

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

4、要求：(1) 干土质量计算至 0.1%；(2) 本试验需进行 2 次平行测定，取其算术平均值，允许平行差值应符合下表规定。

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

含水率试验记录表

试验者 _____

计算者_____

校核者 _____

[illegible]

技能训练三 土粒比重实验

(一) 试验目的

土粒比重是土在 105—110°C 下烘至恒值时的质量与土粒同体积 4°C 纯水质量的比值。试验的目的, 测定土粒比重。

(二) 试验方法与适用范围

1、粒径小于 5mm 的土, 用比重瓶法进行。

2、粒径大于 5mm 的土, 其中含粒径大于 20mm 颗粒小于 10% 时, 用浮称法进行, 含粒径大于 20mm 大于 10% 时, 用虹吸筒法进行; 粒径小于 5mm 部分用比重瓶法进行, 取其加权平均值作为土粒比重。

(三) 比重瓶法试验

1、仪器设备

比重瓶: 容量 100; 天平: 称量 200, 分度值 0.001; 恒温水槽; 砂浴; 温度计; 烘箱; 纯水等。

2、操作步骤

(1) 将比重瓶烘干, 称瓶质量 m_0 , 装烘干试样约 15 入比重瓶内, 称干土加瓶质量 m_3 , 精确至 0.001g。

(2) 为排出土中的空气, 将已装有干土的比重瓶, 注纯水至瓶的一半处, 摇动比重瓶, 并将瓶放在砂浴上煮沸。煮沸时间: 自悬液沸腾时算起, 砂及砂质土不应少于 30 分钟, 粘土及粉质粘土不应少于 1 小时。煮沸时应注意不使土液溢出瓶外。

(3) 将煮沸经冷却的纯水注入有试样的比重瓶近满, 把比重瓶放在恒温水槽内至温度稳定。待瓶内上部悬液澄清, 用滴管注入纯水至瓶口, 塞好瓶塞, 使多余水分自瓶塞毛细管中溢出, 将瓶外水分擦干后称瓶、水、土的总质量 m_2 。精确至 0.001g。然后立即测瓶内水的温度。

(4) 根据测得的温度, 从已绘制的温度与瓶、水总质量关系曲线中查得各试验温度下瓶、水的总质量 m_1 。

3、计算土粒比重: 按下式计算

$$G_s = \frac{m_s}{m_1 + m_s - m_2} G_{w,t}$$

式中: $G_{w,t}$ — $t^\circ\text{C}$ 时纯水的比重, 可查《土工试验规程》。

土粒比重参考值

土的名称	砂类土	粉土	黏性土	
			粉质黏土	黏土
土粒比重	2.65~2.69	2.70~2.71	2.72~2.73	2.74~2.76

4、要求：本试验需进行 2 次平行测定，其平行差值不得大于 0.02，取其算术平均值。

5、本试验记录格式

比重试验记录表（比重瓶法）

工程名称 _____ 试验者 _____
土样编号 _____ 计算者 _____
试验日期 _____ 校核者 _____

试样编号	比重瓶号	温度	液体比重	比重瓶质量 (g)	瓶、干土总质量 (g)	干土质量 (g)	瓶、液体总质量 (g)	瓶、液、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)	(8)	(9)	
			查表			(4)-(3)			(5)+(6)-(7)	(5)×(2)(8)	

土 样 类 别		土 质	土 类 别	土 样 重 量
土 样	土 样 重 量			
砂 土	砂 土	砂 土	砂 土	砂 土

技能训练四 土的颗粒分析实验

(一) 试验目的

颗粒分析试验是测定干土中各种粒组所占该土总质量的百分数, 借以明确颗粒大小分布情况, 供土的分类与概略判断土的工程性质及选料之用。

(二) 试验方法与适用范围

- 1、筛析法: 适用于粒径大于 0.075mm 的土。
- 2、密度计法: 适用于粒径小于 0.075mm 的土。
- 3、移液管法: 适用于粒径小于 0.075mm 的土。
- 4、若土中粗细兼有, 则联合使用筛析法及密度计法或移液管法。

(三) 筛分法实验

1、仪器设备:

(1) 符合 GB6003—85 的要求的试验筛。粗筛: 圆孔, 孔径为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm; 细筛: 孔径为 2.0、1.0、0.5、0.25、0.1、0.075mm。

(2) 天平: 称量 1000g 与称量 200g。

(3) 台秤: 称量 5kg。

(4) 振筛机: 应符合 GB9909—88 的技术条件。

(5) 其他: 烘箱、研钵、瓷盘、毛刷、木碾等。

2、操作步骤 (无粘性土的筛分法)

(1) 从风干、松散的土样中, 用四分法按下列规定取出代表性试样:

- ① 粒径小于 2mm 颗粒的土取 100g—300g
- ② 最大粒径小于 10mm 的土取 300g—1000g
- ③ 最大粒径小于 20mm 的土取 1000g—2000g
- ④ 最大粒径小于 40mm 的土取 2000g—4000g
- ⑤ 最大粒径小于 60mm 的土取 4000g 以上。

称量准确至 0.1g; 当试样质量多于 500g 时, 准确至 1g。

(2) 将试样过 2mm 细筛, 分别称出筛上和筛下土质量。

(3) 取 2mm 筛上试样倒入依次叠好的粗筛的最上层筛中; 取 2mm 筛下试样倒入依次叠好的最上层筛中, 进行筛析。细筛宜放在振筛机上震摇, 震摇时间一般为 10—15min。

(4) 由最大孔径筛开始, 顺序将各筛取下, 在白纸上用手轻叩摇晃, 如仍有土粒漏下, 应继续轻叩摇晃, 至无土粒漏下为止。漏下的土粒应全部放入下级筛内。并将留在各筛上的试样分别称量, 准确至 0.1g。

(5) 各细筛上及底盘内土质量总和与筛前所取 2mm 筛下土质量之差不得大于 1%; 各粗筛上及 2mm 筛下的土质量总和与试样质量之差不得大于 1%。

注: 若 2mm 筛下的土, 小于试样总质量的 10%, 则可省略细筛筛析;

若 2mm 筛上的土, 小于试样总质量的 10%, 则可省略粗筛筛析。

3、计算与制图

(1) 计算小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数:

$$x = \frac{m_A}{m_B} \cdot d_x$$

式中: X —小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数;

m_A —小于某粒径的试样质量, g;

m_B —当细筛分析时或用密度计法分析时所取试样质量(粗筛分析时则为试样总质量), g;

d_x —粒径小于 2mm 或粒径小于 0.075mm 的试样质量占总质量的百分数, 如试样中无大于 2mm 粒径或无小于 0.075mm 的粒径, 在计算粗筛分析时则 $d_x = 100\%$ 。

(2) 绘制颗粒大小分布曲线。以小于某粒径的试样质量占总质量的百分数为纵坐标, 以粒径在对数横坐标上进行绘制(详见教材)。然后求出各粒组的颗粒质量的百分数。

(3) 计算级配指标

① 不均匀系数: $c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

② 曲率系数 $c_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}}$

(四) 密度计法实验

1、仪器设备

乙种比重计: 刻度为 0.995—1.020, 分度值为 0.0002; 量筒: 高度约 45cm, 直径约 6cm, 容积 1000ml, 刻度为 0—1000ml, 分度值为 10ml; 天平、细筛、洗筛、温度计、搅拌器、煮沸设备等。

2、操作步骤

(1) 宜采用风干土试样, 按下式计算试样干质量为 30g 时所需的风干土质量。

$$m = m_s(1 + 0.01w)$$

式中: w —风干土试样含水量

(2) 称干质量为 30g 的风干试样倒入锥形瓶中, 勿使土粒丢失。注入水 200ml, 浸泡过夜。

(3) 将锥形瓶放在煮沸设备上, 连接冷凝管进行煮沸。一般煮沸时间约 1 小时。

(4) 将冷却后的悬液倒入瓷杯中, 静置约 1 分钟, 将上部悬液倒入量

筒。杯底沉淀物用橡皮头研杵细心研散、加水，经搅拌后，静置约 1 分钟，再将上部悬液倒入量筒。如此反复操作，直至杯中悬液澄清为止。当土中大于 0.075mm 的颗粒估计超过试样总质量的 15%，应将其全部倒至 0.075mm 筛上冲洗，直至筛上仅留大于 0.075mm 的颗粒为止。

(5) 将留在洗筛上的颗粒洗入蒸发皿内，倾去上部的清水，烘干称量，按规程规定进行细筛筛析。

(6) 将过洗筛上的颗粒倒入量筒，加 4% 浓度的六偏磷酸钠约 10ml 于量筒溶液中，再注入纯水，使筒内悬液达 1000ml。

(7) 用搅拌器在量筒内沿整个悬液深度上下搅拌约 1 分钟，往复约 30 次，取出搅拌器，将密度计放入悬液中同时开动秒表。测经 1、5、30、120、1440 分钟时的密度计读数。

(8) 注意事项：①每次读数均应在预定时间前 10—20 秒将密度计小心放入悬液接近读数的深度，并须注意密度计浮泡应保持在量筒中部位置，不得贴近筒壁。②密度计读数均以弯液面上缘为准。③每次读数完毕立即取出密度计放入盛有纯水的量筒中。并测定各相应的悬液温度，准确至 0.5°C。④每次放入或取出密度计时，应尽量减少对悬液的扰动。⑤如试样在分析前未过 0.075mm 洗筛，而在密度计第 1 个读数时，发现下沉的土粒已超过试样总质量的 15% 时，则应在试验结束后，将量筒中土粒过 0.075mm 筛，然后按《土工试验规程》规定求得粒径大于 0.075mm 的颗粒组成。

砂土分类

土的名称	颗粒级配
砾砂	粒径小于 2mm 的颗粒占全重的 25%—50%
粗砂	粒径小于 0.5mm 的颗粒超过全重的 50%
中砂	粒径小于 0.25mm 的颗粒超过全重的 50%
细砂	粒径小于 0.075mm 的颗粒超过全重的 85%
粉砂	粒径小于 0.075mm 的颗粒超过全重的 50%

粉土分类

土的名称	颗粒级配
砂质粉土	粒径小于 0.005mm 的颗粒含量不超过全重的 10%
黏质粉土	粒径小于 0.005mm 的颗粒含量超过全重的 10%

黏性土分类

土的名称	颗粒级配
粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$
黏土	$I_p > 17$

3、计算和绘图

(1) 按下式计算小于某粒径的试样质量占试样总质量百分数。

$$X = \frac{100 V}{m_s} C_s [(R - 1) + m_t + n - C_D] b_{w20}$$

式中：C_s—土粒比重校正值，查《土工试验规程》表 a.5.0.1；或按下式计算

$$C_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}}$$

ρ—土粒密度，g/cm³；

ρ_{w20}—20°C 时水的密度，g/cm³；

n—弯液面校正值；

m_t—温度校正值，查规程附表 a.4.0.1

C_D—分散剂校正值；

R—乙种比重计读数。

(2) 按下式计算颗粒直径，也可以按《土工试验规程》图（4.5.2）确定。

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w0} g} \times \frac{L}{t}}$$

式中：d—颗粒直径，mm；

ρ_{w0}—4°C 时水的密度，g/cm³；

η—水的动力粘滞系数，kPa.s；

G_s—土粒比重；

G_{wT}—温度为 T°C 时的水的比重；

L—某一时间 t 内的土粒沉降距离，cm；

g—重力加速度，981cm/s²；

T—沉降时间，s。

(3) 绘制颗粒大小分布曲线：用小于某粒径的土质量百分数为纵坐标，颗粒直径为横坐标（以对数尺度），将试验数据点在图上，绘成一条平滑曲线，即为该土的颗粒大小分布曲线。

筛孔尺寸	筛上土质量	筛下土质量	土样总质量
75μm	1.2g	28.8g	30.0g
150μm	2.5g	27.5g	30.0g
300μm	5.0g	25.0g	30.0g
600μm	10.0g	20.0g	30.0g
750μm	15.0g	15.0g	30.0g
900μm	20.0g	10.0g	30.0g
1060μm	25.0g	5.0g	30.0g
1250μm	28.0g	2.0g	30.0g
1500μm	29.0g	1.0g	30.0g
2000μm	30.0g	0.0g	30.0g

4、颗粒分析试验记录表

颗粒分析试验记录表（密度计法）

工程名称 _____

试验者 _____

土样编号 _____

计算者 _____

试验日期 _____

校核者 _____

小于 0.075 颗粒土质量百分数 _____							干土总质量 _____			
湿土质量 _____							密度计号 _____			
含水量 _____							量筒号 _____			
干土质量 _____							烧杯号 _____			
含盐量 _____							土粒比重 _____			
试样处理说明 _____							比重校正值 _____			
风干土质量 _____							弯液面校正值 n _____			
试验 时间	下沉 时间 t 分	悬液 温度 T $^{\circ}\text{C}$	密度计读数				土粒 落距 L 厘米	粒 径 毫米	小于 某粒 径土 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	$R_M = R + m + n - C_D$				

技能训练五 界限含水率实验

(一) 试验目的

细粒土由于含水率不同,分别处于流动状态、可塑状态、半固体状态 and 固体状态。液限是细粒土呈可塑状态的上限含水率;塑限是细粒土呈可塑状态的下限含水率。

本试验的目的是测定细粒土的液限、塑限,计算塑性指数、给土分类定名,作为估算地基土承载力的一个依据。

(二) 试验方法和适用范围

土的液、塑限试验:采用液塑限联合测定法;

土的塑限试验:采用搓滚法;

土的液限试验:采用碟式仪法。

(三) 圆锥仪液限试验

圆锥仪液限试验就是将质量为 76g 的圆锥仪轻放在试样的表面,使其在自重作用下沉入土中,若圆锥体经过 5s 恰好沉入 10mm 深度,此时试样的含水量就是液限。

1、仪器设备

(1) 圆锥液限仪,主要有三个部分:①质量为 76g 且带有平衡装置的圆锥,锤角 30° ,高 25mm,距锥尖 10 mm 处有环状刻度;②且金属材料或有机玻璃制成的试样杯,直径不小于 40 mm,高度不小于 20 mm;③硬木或金属制成的平稳底座;

(2) 称量 200g、最小分度值 0.01 g 的天平;

(3) 烘箱、干燥器;

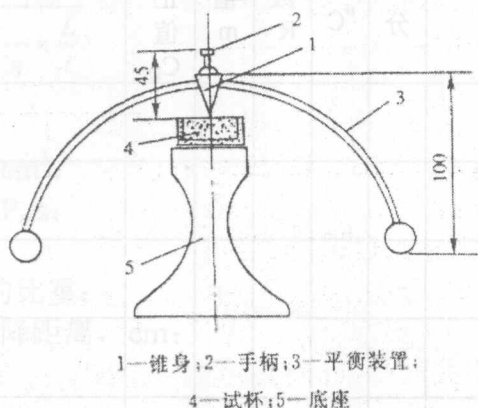
(4) 铝制称量盒、调土刀、小刀、毛玻璃板、滴管、吹风机、孔径为 0.5 mm 的标准筛、研钵等设备。

2、操作步骤

(5) 选取具有代表性的天然含水量土样或风干土样,若土中含有较多大于 0.5mm 的颗粒或夹有多量的杂物时,应将土样风干后用带橡皮头的研杵研碎或用木棒在橡皮板上压碎,然后再过 0.5mm 的筛。

(6) 当采用天然含水量土样时,取代表性土样 250g,将试样放在橡皮板或毛玻璃板上用纯水将土样调成均匀膏状,然后放入调土皿中,盖上湿布,浸润过夜。

(7) 将土样用调土刀调拦均匀后,分层装入试样杯中,并注意土中不



锥式液限仪