

1011458

湖南大学

土工试验指导书

土木系

班 级 _____

姓 名 _____

学 号 _____

土木系工程地质及地基基础教研室

一九八七年五月

总的指示

一、学习土工试验是整个课程教学的一个重要环节，它不仅起着巩固课堂理论，增强对土的各种工程性质的理解等重要作用，而且是学习科学的实验方法和培养实验技能的重要实践途径。因此要求学生必须严肃、认真地对待实验的每一环节，并作好试验前的预习。

二、本试验指示书为土木系各专业共用，各个专业需要做的实验项目按专业教学计划确定。

三、试验报告必须按教师规定时间完成。图表及文字必须正确和整洁，必须用墨水笔写，原始记录不得涂改。每个学生必须独立完成试验报告。

四、严格遵守实验室规则，除遵守课堂纪律外应特别注意下面几点：

- (1) 不得动用与本次实验无关的任何仪器设备；
- (2) 小心使用仪器，遵守“使用注意事项”；
- (3) 做实验后，必须将仪器擦洗干净，并将仪器放还原处；
- (4) 如有仪器设备损坏，应立即报告实验室工作人员，并按学校规定处理。

五、为与现用教材配套，本试验指导书暂按公制单位编写，当使用法定单位时，可按下表换算。

目 录

总的指示

实验一	比重、容重、含水量测定.....	(2)
实验二	液限和塑限的测定.....	(7)
实验三	颗粒分析试验.....	(16)
实验四	压缩试验.....	(23)
实验五	抗剪强度试验.....	(27)
实验六	击实试验.....	(31)

有关法定计量单位及其与公制单位换算表

量的名称	单位名称	单位符号	与公制单位近似换算关系	附注
力、重力	牛〔顿〕	N	$1\text{N}=0.1\text{kg}$	$k=10^3$
	千牛〔顿〕	kN	$1\text{kN}=0.1\text{t}=100\text{kg}$	
应力、压力 强度	帕〔斯卡〕	P_a	$1P_a=0.1\text{kg}/\text{m}^2$	$P_a=\text{N}/\text{m}^2$ $M=10^6$
	千帕〔斯卡〕	kP_a	$1\text{kP}_a=0.1\text{t}/\text{m}^2$	
	兆帕〔斯卡〕	MP_a	$1\text{MP}_a=1\text{N}/\text{mm}^2$ $=10\text{kg}/\text{cm}^2$	
力矩、力偶矩	牛〔顿〕米	$\text{N}\cdot\text{m}$	$1\text{N}\cdot\text{m}=10\text{kg}\cdot\text{cm}$	
	千牛〔顿〕米	$\text{kN}\cdot\text{m}$	$1\text{kN}\cdot\text{m}=0.1\text{t}\cdot\text{m}$	
弹性模量、剪切模量	兆帕〔斯卡〕	MP_a	$1\text{MP}_a=10\text{kg}/\text{cm}^2$	
速度	米每秒	m/s	与公制单位相同	
加速度	米每二次方秒	m/s^2	与公制单位相同	
长度	米	m	与公制单位相同	
	厘米	cm	与公制单位相同	
	毫米	mm	与公制单位相同	
面积	平方米	m^2	与公制单位相同	
	平方厘米	cm^2	与公制单位相同	
	平方毫米	mm^2	与公制单位相同	
时间	秒	s	与公制单位相同	
	分	min	$1\text{min}=60\text{s}$	
	时	h	$1\text{h}=60\text{min}=3600\text{s}$	
角度	弧度	rad	与公制单位相同	
	度	$^\circ$	$1^\circ=(\pi/180)\text{rad}$	
	分	'	$1'=(\pi/10,800)\text{rad}$	
	秒	"	$1''=(\pi/648,000)\text{rad}$	
体积	立方米	m^3	与公制单位相同	
	立方厘米	cm^3	与公制单位相同	
容重	千牛〔顿〕每立方米	kN/m^3	$1\text{kN}/\text{m}^3=0.1\text{t}/\text{m}^3$ $=0.1\text{g}/\text{cm}^3$	
温度	摄氏度	$^\circ\text{C}$	与公制单位相同	
渗透系数	米每秒	m/s	与公制单位相同	
压缩系数	平方米每兆牛〔顿〕	m^2/MN	$1\text{MP}_a^{-1}=0.1\text{cm}^2/\text{kg}$	或 MP_a^{-1}
固结系数	平方厘米每秒	cm^2/s	与公制单位相同	

注：本法定计量单位与公制单位采用近似整数换算，如 $1\text{kgf}=9.80665\text{N}$ 采用 $1\text{kgf}=10\text{N}$

实验一 比重、容重、含水量测定

A. 实验要求

(1) 由实验室提供一块扰动土样, 要求学生测定该土样的含水量、容重和该土的颗粒比重; (2) 根据试验结果要求学生确定该土的孔隙比 (e) 孔隙率 (n)、饱和度 (s_r)、干容重 (γ_d) 和饱和容重 (γ_{sat}) 等物理指标; (3) 参观原状土样。

B. 实验方法

一、含水量试验 (烘干法)

土的含水量是土在 $100^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重时所失去的水份重量与干土重量的比值, 用百分数表示。

本试验采用烘干法, 此法为室内试验的标准方法。

(一) 仪器设备:

1. 电烘箱: (或红外线烘箱);
2. 天平: 感量 0.01 克;
3. 烘土盒: 又叫称量盒, 每个烘土盒的重量都已称量, 并登记备查;
4. 干燥器: 用无水氯化钙作干燥剂。

(二) 试验步骤:

1. 选取有代表性的试样不少于 15 克 (砂土或不均匀的土应不少于 20 克), 放入烘土盒内立即盖紧, 称烘土盒和湿土盒重 (g_1) 并准确至 0.01 克。记录烘土盒号码、烘土盒重量 (g_3) (由试验室提供) 和 g_1 。

2. 打开烘土盒盖, 放入电烘箱中在 $100^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 温度下烘至恒重。(烘干时间一般自温度达到 $100^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 算起不少于 6 小时)。然后取出烘土盒, 加盖后放进干燥器中, 使冷却至室温。

3. 从干燥器中取出烘土盒, 称烘土盒和烘干土的合重 (g_2) 并准确至 0.01 克, 并将此重量记入表格内。

4. 本试验须进行二次平行测定。

(三) 计算:

按下式计算含水量:

$$w(\%) = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_3} \times 100 \quad \text{计算至 } 0.1\%$$

式中: $g_1 - g_2$ ——试样中含水重;

$g_2 - g_3$ ——试样干土重。

(四) 有关问题的说明:

1. 含水量试验用的土应在打开土样包装后立即采取, 以免水分改变, 影响结果。
2. 本试验须进行平行测定, 每一学生取两次试样测定含水量, 取其算术平均值作为最后成果。但两次试验的平行差值不得大于下列规定:
3. 烘土盒中的湿试样称重以后由试验室负责烘干, 同学们在24小时以后抽时间来实验室称干试样重。

含水量 (%)	允许平行差值 (%)
5 以下	0.3
40 以下	1
40 以上	2

二、容重试验 (环刀法)

土的单位体积重量为容重。

容重的测定, 对一般粘性土采用环刀法, 如试样易碎或难以切削成有规则的形状时可采用蜡封法等。本试验采用环刀法。

(一) 仪器设备:

1. 环刀: 内径 50~80 mm, 高 20~40 mm, 壁厚 1.5~2.0 mm (见图 1);
2. 天平: 称量 500 克以上, 感量 0.1 克;
3. 直口切土刀、凡士林等。

(二) 试验步骤:

1. 取原状土或取按工程需要制备的重塑土, 用切土刀整平其上下两端, 将环刀内壁涂一薄层凡士林, 刃口向下放在土样整平的面上。

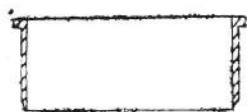


图 1 环刀剖面图

2. 用切土刀将土样上部修削成略大于环刀口径的土柱, 然后将环刀垂直均匀下压, 边压边削, 至土样伸出环刀上口为止, 削去环刀两端余土并修平土面使与环刀口平齐。

3. 擦净环刀外壁, 称环刀与土合重 (g_1), 准确至 0.1 克。
4. 记录 g_1 、环刀号数以及由实验室提供的环刀重量 (g_2) 和环刀体积 (V)

(三) 计算:

$$\gamma = \frac{g_1 - g_2}{V}, \text{ 计算至 } 0.01 \text{ 克/厘米}^3;$$

式中: g_1 ——环刀加土重, 克;

g_2 ——环刀重, 克;

V ——环刀体积, 厘米³;

(g_2 和 V 可根据环刀号查实验室的表得到)。

(四) 有关问题的说明:

1. 用环刀切试样时, 环刀应垂直均匀下压, 防止环刀内试样结构被扰动。
2. 夏天室温很高, 为了防止称重时试样中水分被蒸发, 影响试验结果, 宜用两块

玻璃片盖住环刀上、下口称重、但计算时必须扣除玻璃片重量。

3. 每组做两次平行测定，平行差值不得大于 0.03 克/厘米^3 ，取算术平均值作为最后结果。

三、比重试验（比重瓶法）

土的颗粒比重是土在 $100^\circ \sim 105^\circ \text{C}$ 下烘至恒重时的重量与同体积 4°C 蒸馏水重量的比值。

比重试验的方法取决于试样的粒度大小和土中是否含有水溶盐，如果水中不含水溶盐时，可采用比重瓶和蒸馏水煮沸排气法。土中含有水溶盐时要用比重瓶和中性液体真空排气法。粒径都大于 5mm 时则可采用虹吸筒法或体积排水法。本次试验采用比重瓶和蒸馏水煮沸排气法。

（一）仪器计备：

1. 比重瓶：容量 100 毫升（见图 2）；
2. 天平：称量 200 克，感量 0.001 克 ；
3. 恒温水槽、灵敏度 $\pm 1^\circ \text{C}$ ；
4. 电热砂浴；
5. 孔径 2mm 土样筛、烘箱、研钵、漏斗、盛土器、蒸馏水等。



图 2 100 毫升比重瓶

（二）试验步骤：

1. 试样制备：

将风干或烘干之试样约 100 克放在研钵中研粉，使全部通过孔径为 2mm 的筛，如试样中不含大于 2mm 的土粒，则不需过筛。将已筛过的试样在 $100^\circ \sim 105^\circ \text{C}$ 下烘至恒重后放入干燥器内冷却至室温备用。（此项工作由实验室工作人员负责完成）。

2. 将烘干土约 15 克，用漏斗装入烘干了的比重瓶内并称重，得瓶加土重 g_1 ，准确至 0.001 克 。

3. 将已装有干土的比重瓶，注蒸馏水至瓶的一半处。

4. 摇动比重瓶，使土粒初步分散，然后将比重瓶放在电热砂浴上煮沸。（记着将瓶盖取下。）煮沸时要注意调节砂浴温度，避免瓶内悬液溅出。煮沸时间从开始沸腾时算起，砂土和轻亚粘土不少于 30 分钟，亚粘土和粘土不少于 1 小时。本次实验因时间关系煮沸时间由教师根据具体情况决定。

5. 将比重瓶从砂浴上取下，注入蒸馏水至近满，然后放比重瓶于恒温水槽内，待瓶内悬液温度稳定后（与水槽内的水温相同），测记水温（ T ），准确至 0.5°C 。（注：本实验室槽内水温控制在 20°C ）

6. 轻轻插上瓶塞，使多余水分从瓶塞的毛细管上溢出（溢出的水必须是不含土粒的清水）。取出比重瓶，擦干比重瓶外部水分，称瓶加水加土合重（ g_4 ），准确至 0.001 克 。

按下式计算比重:

$$G = \frac{g_0}{g_0 + g_3 - g_4} \cdot \frac{\gamma_{\text{WT}}}{\gamma_{\text{W}4^\circ\text{C}}}$$

($\gamma_{w20^{\circ}\text{C}}=0.99823223$ 克/立方厘米)

(四) 有关问题的说明:

1. 煮沸的作用是破坏试样中尚存的团粒和封闭的孔隙, 排出空气以达到使土粒分散的目的。在规定的煮沸时间内, 为防止带土粒的悬液从瓶中冲出, 必须随时守候观察, 当发现有可能冲出时, 除可调节砂浴温度外, 必要时可用滴管滴入数滴冷蒸馏水, 使稍为降温。

2. 比重瓶的计算容积是指比重瓶从瓶塞顶部毛细管管口以下部分的空间容积, 因此不能称量 g_3 或 g_4 时, 瓶中水面都必须与瓶塞毛细管管口平齐。

3. 每组作两次平行测定, 平行差值不得大于 0.02, 取其算术平均值, 以两位小数表示。

4. 用比重瓶测定土粒比重的原理简述:

$$G = \frac{g_0/V_s}{\gamma w 4^\circ\text{C}} = \frac{g_0/(g_w/\gamma_{WT})}{\gamma w 4^\circ\text{C}}$$

$$= \frac{g_0}{g_w} \cdot \frac{\gamma_{WT}}{\gamma w 4^\circ\text{C}} = \frac{g_0}{(g_0 + g_3) - g_4} \cdot \frac{\gamma_{WT}}{\gamma w 4^\circ\text{C}}$$

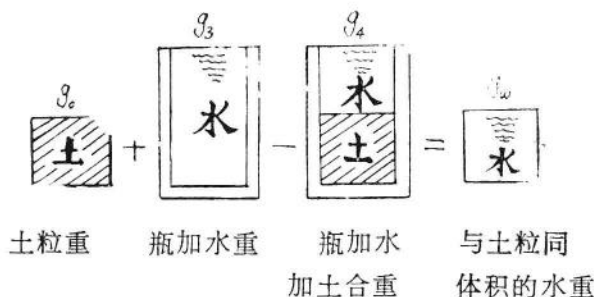


图 3

C. 指示和建议

1. 本次试验项目较多，事先必须做好预习。
2. 建议从比重测定开始做，利用煮沸及放在恒温水槽内定温的时间做含水量和容重测定，必须善于安排工作，抓紧时间，同时要注意保证试验质量。
3. 试验数据必须当时立即直接填入表格，注意不要漏记仪器号数及其他必要数据。
4. 计算及填写试验结果时，注意必要位数和单位。计算时要画三相草图，尽可能在图上将数值填入，不要死代公式。

D. 预习问题

1. 容重、比重、含水量、孔隙比、孔隙率、饱和度、干容重和饱和容重的定义是什么？
2. 什么时候必须测定土的容重、比重和含水量？试验结果有什么用处？
3. 解释求比重的公式：

$$G = \frac{G_0}{g_0 + g_3 - g_4} \cdot \frac{\gamma_{wt}}{\gamma_{w4^\circ\text{C}}},$$

4. 比重测定中煮沸的目的何在？放入恒温水槽的目的何在？应该特别注意做好哪些步骤，才能得到准确的试验结果？

实验二 液限和塑限的测定

粘性土由于含水量不同，分别处于流动状态、可塑状态、半固体状态和固体状态。液限是粘性土的可塑状态与流动状态的界限含水量。塑限是粘性土的可塑状态与半固体状态的界限含水量。

A. 实验要求

(1) 由实验室提供经过调拌浸润处理后的土样，要求学生测定该土的液限（用平衡锥法）和塑限（用滚搓法）。(2) 根据实验资料确定该土的类别（定名）和天然稠度状态。并根据规范查出该土的基本承载力。(3) 参观液限、塑限联合测定仪。(4) 在试验过程中注意观察粘性土在不同含水量时土的物理状态的变化情况。

B. 实验方法

一、液限的测定（平衡锥法）

（一）仪器设备：

1. 平衡圆锥仪（见图4）；该仪器的主要部分是不锈钢制成的精密圆锥体，顶角 30° ，高约25mm，距锥尖10mm处刻有一环形刻线。有两个金属锤通过一半圆形钢丝固定在圆锥体上部，作为平衡装置。平衡圆锥仪的标准重量是76克（精确度 ± 0.2 克），另外还配备有试杯和台座各一个。

2. 天平：（感量0.01克）

3. 电烘箱；

4. 烘土盒；

5. 干燥器；

6. 盛土器皿、调土板、调土刀、蒸馏水、滴管、凡士林等。

（二）试验步骤：

1. 试样制备：原则上应采用天然含水量的土样进行制备。若土样相当干燥，允许用风干土样进行制备。其方法如下：取有代表性的天然含水量的土样，用木碾在橡皮垫上将土碾散（切勿压碎颗粒）若天然含水量较高可不碾散然后将土放入调土皿中。加蒸馏水调成均匀浓糊状。若土中含有大于0.5mm颗粒时，应将粗粒剔出或过0.5mm筛。

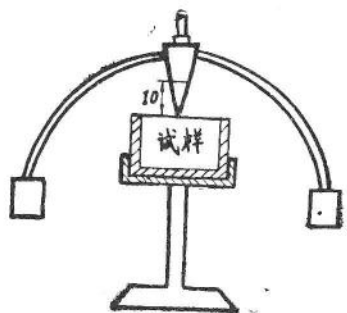


图4 平衡圆锥仪



若用风干土，则碾散后过 0.5mm 筛，再放于调土皿中调成均匀糊状 盖好（或放入保湿箱中）静置一昼夜。若天然含水较高时（圆锥入土深度大于 5 mm），可不经静置。（此项土样制备工作由实验室完成）。

2. 用调土刀取制备好的试样放在调土板上彻底拌均匀，填入试杯中，填土时注意勿使土内留有空气，然后刮去多于的土，使土面与杯口齐平。将试杯放在台座上。刮去余土时，不得用刀在土面上反复涂抹。

3. 用布揩净平衡圆锥仪，并在锥体上抹一薄层凡士林。用拇指和食指提住上端手柄，使锥尖与试样中部表面接触，放开手指，使锥体在其自重作用下沉入土中。

4. 若锥体约经 15 秒钟沉入土中深度大于或小于 10mm 时，则表示试样的含水量高于或低于液限。这时应先挖出粘有凡士林的土不要，再将试杯中的试样全部放回调土板上，或铺开使多余的水分蒸发，或加入少量蒸馏水，重新调拌均匀，重复第 2、3、4 条的操作，直至当锥体约经 15 秒钟沉入土中深度恰为 10mm 时为止，此时土样的含水量即为液限。

5. 取出锥体，挖去粘有凡士林的土后，在沉锥附近取土约 10 克左右放入烘土盒中，按含水量试验方法测定含水量。

（三）计算：

按下式计算液限：

$$w_L(\%) = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_3} \times 100, \text{ 计算至 } 0.1\%$$

式中： g_1 ——烘土盒加湿土重；

g_2 ——烘土盒加干土重；

g_3 ——烘土盒重。

（四）有关问题说明：

1. 在制备好的试样中加水时，不能一次太多，特别初次宜少。

2. 试验前应先校验平衡圆锥仪的平衡性能，即圆锥体的中心轴必须是竖直的，沉放圆锥仪时，两手应自然放松，放锥时要平稳，避免冲击。

3. 经验指出，对一般粘性土，当锥体沉入试样后，试样表面仍能保持杯口齐平，如图 5 (a)，此时观察沉入深度 h 是比较容易。但塑性较低或塑性极高的粘性土，当锥体沉入后，土面将发生凹或上凸现象如图 5 (b) 和 (c)。为统一观察标准。规定沉入深度 h 一律以土锥体相接触的上边棱线为准。

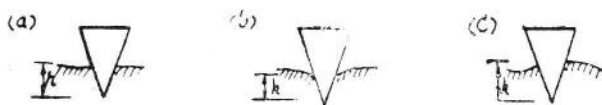


图 5 锥式液限仪沉入土体中的几种情况

4. 每人取两次试样进行测定，取其算术平均值，以整数（%）表示。其平行差值

不得大于下列规定：

液 限 (%)	允许平行差值 (%)
≤ 50	2
> 50	3

5. 试样烘干工作由实验室代做。

二、塑 限 测 定

(一) 仪器设备：

除将液限试验中平衡圆锥仪更换为一搓条用的毛玻璃板外，其他均相同。

(二) 试验步骤：

1. 土样制备与液限测定同。

2. 从制备好的试样中取出一小部分放在毛玻璃板上用手掌搓滚。（制备好的土样含水量一般大于塑限，搓滚的目的是一方面促使试样中的水分逐渐蒸发，一方面将试样慢慢塑成规定的 3mm 直径的土条）搓压时手掌必须均匀地轻压土条。

3. 若土条搓至直径达 3mm 而仍未出现裂纹和断裂，则表示此时土条的含水量高于塑限。若土条开始出现裂纹和断裂，而其直径大于 3mm。则表示此时土条的含水量低于塑限。遇此两种情况，均应重新取试样搓滚。直至搓滚的土条直径达到 3mm 时，表面开始出现裂纹并断裂成数段，（见图 6），此时土条的含水量即为塑限。

（每组有一 $\phi 3\text{mm}$ 铁棒作比较）。

4. 将已达到塑限的断裂土条立即放入烘土盒盖紧（动作要敏捷，防止水分蒸发），再取试样用同样的方法作试验。待烘土盒中合格的断土条积累有 3~5 克时，即可测定其含水量，此含水量值即为塑限。

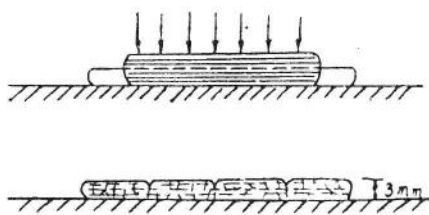


图 6 滚搓法

(三) 计算：

按下式计算塑限：

$$w_p(\%) = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_3} \times 100, \text{ 计算至 } 0.1\%$$

式中符号同液限计算公式。

(四) 有关问题说明：

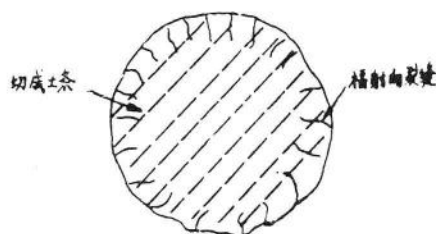
1. 搓条法测塑限需要一定的操作经验，特别是塑性低的土，更难搓成。同学们初次操作必须耐心地反复实践，才能达到试验标准。下列经验可供参考：先取试样一部分，用两手反复揉捏成球（大小似乒乓球），然后放在毛玻璃板上压成厚 4~5mm 的土

饼，如土饼四周边缘上出现幅射状短裂缝时表示搓条的起始水分合适。然后用小刀将土饼切一小条搓滚（见图7）。一次不成，再切第二条，如第一次搓成3mm直径而未断裂，则第二条可切宽一些，反之，则切窄一些

2. 搓条规定只能用手掌全面施加轻微均压搓滚，如无压搓滚，易出现土条中空现象，同时土条长度超出手掌以外的部分应切除。

3. 每人做两次试验（每次一个烘土盒）进行平行测定，取算术平均值，以整数（%）表示，其平行差值不得大于下列规定：

4. 试样烘干工作由实验室代做。



塑 限 (%)	允许平行差值
≤ 30	2
> 30	3

图7 搓条前压成的土饼示意图

三、联合测定法（一）

（一）基本原理：

如果在平衡圆锥仪上加一能精确测量圆锥入土深度的显示装置，并利用电磁吸力代替手工提放圆锥，（圆锥仪的重量和锥角不变）然后，我们仿照液限试验方法可以测出同一种土的试样在不同含水量时的锥体沉入深度。同时仍用搓条法测定塑限。通过大量的试验数据分析，发现含水量与沉入深度在双对数坐标上具有良好的直线关系（见图8），而且用搓条法得到的塑限，基本上落在这条直线的相当于圆锥沉入深度2mm的附近。这就是联合测定法的理论基础。下面介绍具体方法。

（二）试验方法

仪器采用电磁式平衡圆锥仪，其他仪器设备和土样制备方法均与常规液限试验同。试验时将试样调成三种不同含水量，分别装入试杯内用电磁式圆锥仪测得三个不同锥体沉入深度。为了提高试验精度，上述三个不同深度，最好控制在5~12mm之间，其间隔以2~3mm为宜。

将测定的三个含水量及相应的三个深度点绘在双对数坐标纸上，联三点绘一直线。（如各测点不能联成直线，可绘一视测的平均直线，但各测点与平均直线上对

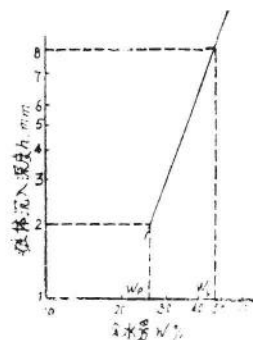


图8 含水量与锥体沉入深度关系

应点的含水量之差不得超过 1%)。将直线延长。

在直线上取沉入深度为 10mm 和 2mm 的两点 (如图 8)，此两点 对应的含水量即分别为液限 (w_L) 和塑限 (w_p)。

四、联合测定方法 (二)

本试验的目的用液塑限联合测定仪联合测定土的液限和塑限，其基本方法是：分别调制三种不同含水量的土样，它们的含水量分别控制在液限、塑限之间和液限附近。应用 LP—100 液、塑限联合测定仪测得锥体三个不同的入土深度 h ，在双对数座标的 $h-w$ 关系图上描三点，将三点连成一直线，在 $h-w$ 图上查与 $h=20\text{mm}$ 所对应的含水量 w ，即为所求的液限 w_L 。然后由 w_L 值在 h_p-w_L 关系图上查得相应的 h_p 值，再根据 h_p 值在 $h-w$ 图上查得与 h_p 相对应的 w 值，即为所求的塑限 w_p 。

仪器设备

一、LP—100 型数码式液限联合测定仪 (图 9)。锥体重量 100 ± 0.1 克，锥角 $30^\circ \pm 0.2^\circ$ 。

二、天平：称量 200 克，感量 0.01 克；

三、其它：筛 (孔径 0.5 毫米)，调土刀、调土皿、称量盒、研钵、烘箱、吸管、凡士林、蒸馏水等。

操作步骤

一、取有代表性的天然含水量或风干土样进行试验。如土中含有大于 0.5 毫米的颗粒或夹杂物较多时，可采用风干土样，用带橡皮头研杵研碎或用木棒在橡皮板上压碎土块。试样必须反复研碎过筛，直至将可研碎的土块全部通过 0.5 毫米的筛为止。取筛下土样用三皿法或一皿法进行制样：

1. 三皿法：用筛下土样 200 克左右分开放入三个盛土皿中，用吸管加入不同数量的蒸馏水或自来水，土样含水量分别控制在液限、塑限以上和它们的中间状态附近。用调土刀调匀，盖上湿布，放置 18 小时以上。

2. 一皿法：取筛下土样 100 克左右，放入一个土皿中，按三皿法加水、调土、闷土，唯土样的含水量控制在塑限以上，按步骤二至四条进行第一点入土深度和含水量测定。然后依次加水，按上述方法进行第二点和第三点含水量和入土深度测定，该两点土样的含水量应分别控制在液限、塑限中间状态和液限附近，但加入后要充分搅拌均匀，分层装入土样试杯，用力压密，使空气逸出。对于较干的土样，应先充分搓揉用调土刀反复压实。试杯装满后，刮成与杯边齐平。

二、接通电源，调平机身、打开开关，提上锥体 (此时数码显示应为零)。锥头上涂

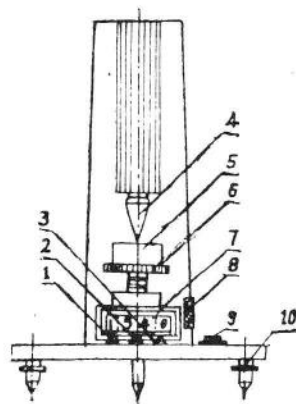


图 9 LP—100 型数码式液塑限联合测定仪

上少许凡士林。将装好土样的试杯放在升降座上，转动升降旋钮，试杯徐徐上升，土样表面和锥尖刚好接触时，指示灯亮，停止转动旋钮，锥体立刻自行下沉，5秒钟自动停止下落，数码管上显示锥入深度。记录读数 h_1 。按动复位按钮，锥体复位，读数显示为零。

三、改变锥尖与土体接触位置（锥尖两次锥入位置距离不小于1厘米）；重复步骤二，得锥尖深度 h_2 。 h_1 、 h_2 允许误差为0.5毫米，否则应重作。取 h_1 、 h_2 平均值作为该点的锥入深度 h 。

四、去掉锥尖入土处的凡士林，取10克以上的土样两个，分别放入称量盒内，称重（准确至0.01克），测定其含水量 w_1 、 w_2 （计算到0.1%）。计算含水量平均值 w 。

五、重复第二至四步骤，对其它两个含水量土样进行试验，测其锥入深度和含水量。

计算及制图

一、在双对数坐标纸上，以含水量 w 为横座标，锥入深度 h 为纵座标，点绘三个不同含水量的 $h-w$ 图，连此三点，应呈一条直线。如三点不在同一直线上，可用较高含水量的点和通过其余两点的重心处一点连成直线（见图10）。

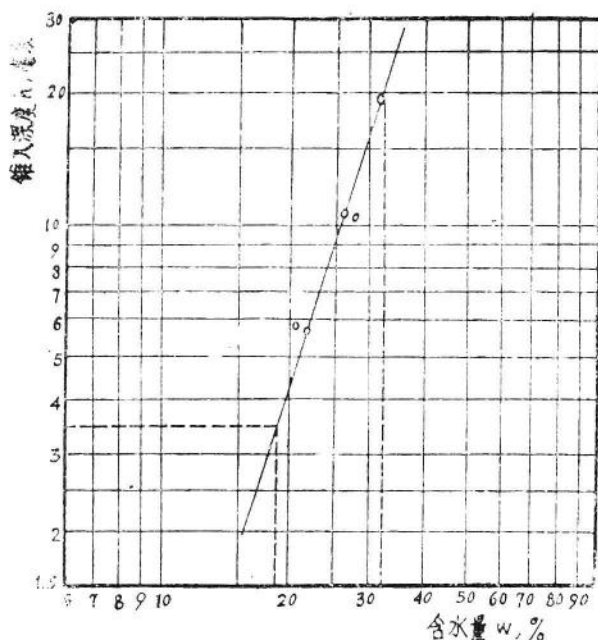


图10 锥入深度与含水量 ($h-w$) 关系图

二、在 $h-w$ 图上，查得纵座标入土深度 $h=20$ 毫米所对应的横座标的含水量 w ，即为该土样的液限 w_L 。

三、根据液限 w_L ，通过液限与塑限时入土深度的关系曲线（见图11，12），查得 h_p ，再由图10求出入土深度为 h_p 时所对应的含水量，即为该土样的塑限 w_p 。查 w_L —

h_p 关系图时，须先通过简易鉴别法（若为砂土则搓不成条或能搓成大于 2.5 毫米的土条，手摸湿土有砂感，无干强度或甚微，无韧性等。详见“公路土工试验规程”的“土 102-79”）把砂性土和非砂性土区别开来，再按这两大组分别采用相应的 w_L-h_p 关系曲线。对于非砂性土，用双曲线（图 11）确定 h_p 值；对砂性土，则用组合曲线（由双曲线和正交三次多项式曲线所配成，如（图 12）确定 h_p 值。

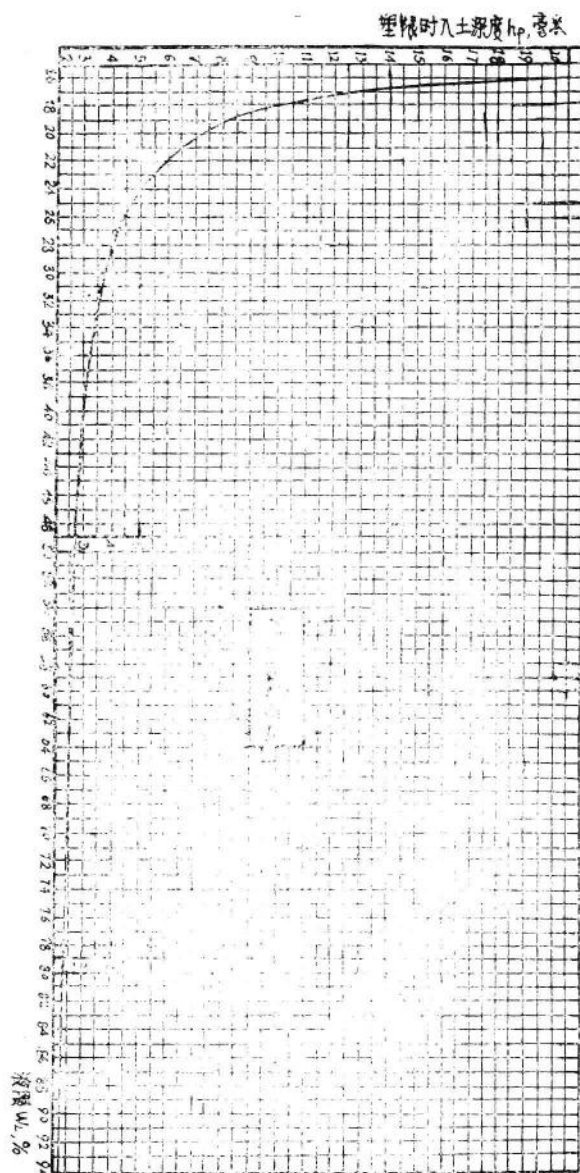


图 11 w_L-h_p 关系图

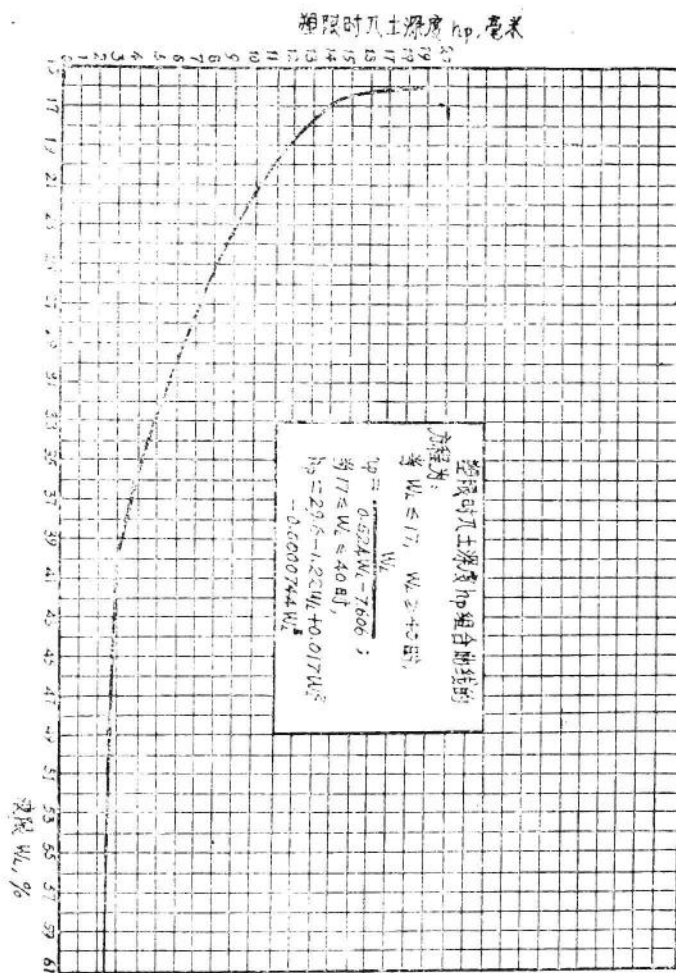


图12 w_L-h_p 关系图

记 录

见“土工试验报告”实验二表二。

注意事项

一、液塑限联合测定时，土体的含水量均匀及密实与否，对试验精度影响极大。土样制备时，三个土样的含水量不宜十分接近，否则不易控制联合测定曲线走向，影响测定精度。含水量接近塑限的那个土样对测定影响很大。当含水量等于塑限时，该点控制曲线走向最佳。但此时土样很难调制。因此可先将制备好的土样充分搓揉，再将它紧密地压入盛土杯，然后刮平。为便于操作，根据经验，此时的含水量可略加大，以锥入深度为4—5毫米左右为限。

二、土的塑限 w_p 除按双曲线法确定外，也可近似地按经验确定之。方法是根 据简