

试 用 教 材

土質学实验指导书

孙 懋 文 李 克 文 编

武汉地质学院工程地质教研室

1 4年12月

前 言

本书是工程地质专业《土质学》(或称《工程岩土学》)教材的组成部份。《土质学》实验课是《土质学》教学中的重要环节,通过实验课使学生在《土质学》的学习中,能理论与实践相结合,培养学生的实际工作能力及严谨的科学态度,进一步巩固课堂教学。为此,要求学生必须了解和掌握实验的原理和方法,其中包括仪器装置的原理,并将课堂上所学的理论用于实验,使之具体化,以加深对课堂所学理论的理解,同时要求学生认真操作,了解实验项目在生产实践上的意义。为帮助学生通过实验课达到上述目的,我们在编写该书过程中,力求从教学出发,联系生产实际,配合课堂理论,阐明实验原理,并辅以思考题。本书是在北京地质学院、武汉地质学院编写的《土质学实验讲义》基础上,参阅了长春地质学院及生产部门编写出版的有关书藉编成。按课程要求,其中纳入了室内常观土工试验项目,不包括土的化学成份、三轴剪切、原位测试等项目。教师可根据教学大纲及学时数选作某些项目,其余可供学生参考,也可供学生在完成生产实习后,为获得毕业设计资料进行土样测试时用。为了便于学生写实验报告,另编了《土质学实验报告书》。本书的前言、实验一至实验廿二及实验廿九由孙懋文编写,实验廿三至实验廿八由李克文编写,最后由孙懋文统一编辑整理。

根据教育部《关于教材采用国际单位制的通知》,书中应采用国际单位制单位,但鉴于目前实验仪器设备尚未改进,因此本书重度单位仍采用克/厘米³,应力单位采用公斤/厘米²,文中说明了这些单位与目前工程中采用的工程单位制单位与国际单位制单位的关系。

由于编者水平有限,书中不免存在缺点和问题,如何能使本书内容做到教学与生产密切结合,均请读者指正。

编者1984年12月于武汉

目 录

实验一	目测法鉴定各种典型土类	(1)
实验二	筛分法测定砂土的粒度成分	(3)
实验三	虹吸比重瓶法测定粘性土的粒度成分	(5)
实验四	移液管法测定粘性土的粒度成分	(11)
实验五	比重计法测定粘性土的粒度成分	(15)
实验六	粒度分析成果的整理	(21)
实验七	测定土粒的比重	(25)
实验八	测定土的容重	(27)
实验九	测定土的含水量	(30)
实验十	测定砂土的相对密度	(32)
实验十一	测定粘性土的液限	(35)
实验十二	测定粘性土的塑限	(38)
实验十三	光电仪法测定粘性土的液限和塑限	(39)
实验十四	测定粘性土的自由膨胀率	(42)
实验十五	测定粘性土的无荷载膨胀率	(43)
实验十六	测定粘性土不同压力下的膨胀率	(44)
实验十七	测定粘性土的崩解性指标	(45)
实验十八	测定扰动粘性土的收缩性指标	(48)
实验十九	测定原状粘性土的收缩性指标	(49)
实验二十	测定砂土的渗透系数	(51)
实验二十一	测定粘性土的渗透系数	(56)
实验二十二	测定砂土的毛细性指标	(60)
实验二十三	测定土的压缩性指标	(63)
实验二十四	测定黄土的湿陷性指标	(68)
实验二十五	直接剪切仪测定土的抗剪性指标	(71)
实验二十六	测定土的无侧限抗压强度	(78)
实验二十七	测定无凝聚性土的天然坡角	(81)
实验二十八	测定土的击实性指标	(82)
实验二十九	土质实验成果整理	(87)

实验一 目测法鉴定各种典型土类

目的

培养在野外条件下目测鉴别土的能力，初步确定土的名称，并能进行一般描述（包括颜色、矿物成分，夹杂物等）。目测法鉴别土的类型，虽然不需要复杂的仪器设备，但却具有较高的工作效率和一定的准确性，为工程地质工作者必须掌握的基本技能之一。土的正式命名，无用讳言，仍要根据实验室的分析资料。

二 基本原理

自然界中的土具有各种不同的类型，相应地反映在其外表特征和内在性质上各有差异，如颗粒粗细、结构构造及某些物理特性（干湿现象、加水后性质的变化等）。以此做依据，凭借双目或放大镜观察及手指的触觉等，对土进行鉴定，初步定出土的名称。

三 仪器设备

- | | |
|---------------|-----------------------|
| 1. 土样标本盒一套； | 7. 玻璃烧杯（容量250或500毫升）； |
| 2. 放大镜（1×10）； | 8. 牛角勺。 |
| 3. 拨针； | 9. 塑料盘； |
| 4. 切土刀； | 10. 盐酸（浓度25%）； |
| 5. 切土板； | 11. 洗耳球。 |
| 6. 毫米方格纸、直尺； | |

四 实验步骤

1. 典型粒组的观察：

从标本盒内取出典型粒组，观察碎石组（或卵石组）。角砾组（或砾石组），粗砂粒组、中砂粒组、细砂粒组。建立对上述粒组之感性认识。

（1）用直尺测量碎石组（或卵石组）、角砾组（或砾石组），以最长度作为其粒径，并观察颗粒的形状。

（2）用牛角勺取2—5克砂粒组置于毫米方格纸上，用放大镜观察其粒径（一般毫米方格纸上线条本身宽约0.20毫米，空白格约0.80毫米）。如图1—1所示。按表1—1鉴别认识各种砂粒组。

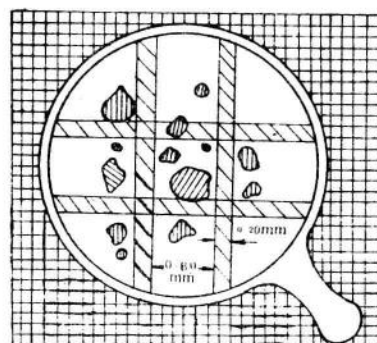


图1—1 用放大镜和毫米方格纸测定砂粒直径

卵砾组及砂粒组分类表

表1—1

200		20	2	0.5	0.25	0.1	0.05mm
块石或漂石	碎石或卵石	角砾或砾石	粗	中	细	极细	
卵砾组			砂粒组				

2. 卵砾类土及砂类土的鉴定：

(1) 将土样盒内之土样置于盘中拌匀, 取有代表性的土样, 卵砾类土约10~30克左右, 砂类土2~5克, 放在毫米方格纸上。

(2) 用拨针将土样中不同大小的颗粒按表1—1分类。首先将粒径 >2 毫米之土粒拨在一起凭直觉大致估计该粒组在土中所占的重量百分含量(可按该粒组的体积占土样总体积的百分率来估计)。

(3) 若粒径 >2 mm土粒之重量百分含量超过50%, 属卵砾类土, 按表1—2定土名。

卵砾类土的分类

表1—2

土的名称	土粒累积百分含量(%)		
	>200 mm	>20 mm	>2 mm
漂石土或块石土	>50		
卵石土或碎石土		>50	
园砾土或角砾土			>50

注: 定土名时, 按表中粒径由粗到细, 以最先符合者命名。

(4) 若粒径 <2 mm土粒之重量百分含量不超过50%, 而是25~50%, 则按表1—3定名为砾砂土。

(5) 若粒径 >2 mm土粒之重量百分含量小于25%, 则继续将 >0.5 mm之土粒拨出, 估计 >0.5 mm土粒之重量百分含量, 若超过50%, 定名为粗砂土, 余下土样不再细分粒粗, 若不及50%, 则依次类推由粗到细顺次拨 >0.25 mm, >0.1 mm, 并估计其重量百分含量, 按表1—3粒径由粗到细, 以最先符合者命名。

砂类土的分类

表1—3

土的名称	土粒累积百分含量(%)			
	>2 mm	>0.5 mm	>0.25 mm	>0.1 mm
砾砂土	25~50			
粗砂土		>50		
中砂土			>50	
细砂土				>75
粉砂土				<75

3. 粘性土的鉴定:

从土样盒中取土样若干按表1—4的方法进行鉴定, 其中以湿土搓条法为主。取土若干研成粉末于手掌上, 加水数滴, 调成粘手而又不大粘手的可塑形态, 搓揉之, 然后在手掌上搓条, 应尽可能搓得细, 把搓得最细的土条放在毫米方格纸上, 用放大镜观测其直径, 再观察其它特征鉴定粘性土的类别。

4. 土样描述内容:

土名及其依据、颜色、矿物成分、胶结程度、结构构造, 有无夹杂物如结核、腐殖质、碳酸盐等。对卵砾类土必须描述其充填物的特征。

粘性土的鉴定特征

表1—4

鉴定方法 土 名		湿土搓条	用 手 指 捻 摸		潮湿状态 刀切情况	干土强度状况
			潮湿状态	干燥状态		
粘 土		能搓成直径小于1毫米的细长条, 易搓滚成球。	有滑腻感, 感觉不到有颗粒存在。水多时极为粘手。	无粉末感, 断口棱角尖锐刺手。	表面光滑、没有砂感。对刀面有较强的粘腻阻力。	强度很大呈坚硬固体, 用力锤击方可打碎, 碎块有棱角。
亚 粘 土	重	能搓成1~1.5 mm的细条。	有滑腻感, 但感觉略有细粒。	稍有粉末感, 断口棱角不刺手。	有光滑面切面规则。	强度较大用手指不能压碎, 锤击时散成碎块, 断口有棱角。
	中	能搓成1.5~2 mm的细条。	无滑腻感, 但有粘感, 有少量细粒。	有较多粉末感, 断口棱角可摸钝。	无光滑面, 但切面平整。	较坚固, 锤击时成很多小块, 用手可折断, 断口稍有棱角, 但平钝。
	轻	能搓成2~3mm的细条。	容易感觉有细粒存在, 轻微粘感。	有砂感, 容易掉粒。	切面稍显粗糙。	强度较差锤击时有粉末出现, 可用手指压碎。
亚砂土		能搓成大于3 mm的短土条。	有砂粒的感觉, 略为粘手。	土面粗糙稍捻摸就掉粒。	有显著粗糙面。	强度很差, 用手指就可捻成粉末

五 实验报告内容

1. 对土样初步定出土名。
2. 对鉴定之土样, 按描述内容要求描述之, 并填写于记录表格中。

实验二 筛分法测定砂土的粒度成分

一 基本原理

筛分法是利用一套孔径不同的标准筛(图2—1), 来分离一定量的砂土中与筛孔径相应的粒粗, 而后称重, 计算各粒组的重量百分含量, 确定砂土的粒度成份。筛孔过小时在制造和分离技术上有困难, 故一般只适用于分离粒径 $>0.1\text{mm}$ 的粒组。

二 仪器设备

1. 标准筛一套(图2—1)。

2. 普通天平(感量0.1克)。
3. 磁钵及橡皮头研棒。
4. 毛刷、白纸(或报纸)一张, 大于30×30厘米。

三 实验步骤

1. 土样的制备:

(1) 风干土样: 将土样摊成薄层, 在空气中放1~2天, 使土中水份蒸发。若土样已干, 则可直接使用。

(2) 当试样中有结块时, 可将试样倒入磁钵中, 用橡皮头研棒研磨, 使结块成为单独颗粒为止。但需注意不要把颗粒研碎。

(3) 从松散的或研散的土样中取代表性试样, 其数量如下:

最大粒径小于2mm者, 取100~300克;

最大粒径在2~10mm之间的, 取300~900克;

最大粒径在20~40mm之间的, 取2000~4000克。

最大粒径大于40mm者, 取40000克以上。

若野外取回的土样数量过多, 则用四分法来选取试样。方法如下: 将土样拌匀, 倒在纸上成园锥形(图2—2—1)然后用直尺以园锥顶点为中心, 向一定方向旋转(图2—2—2), 使园锥成为1~2厘米厚的园饼状。继而用尺划两条相互垂直的直线, 使土样分成四等分, 取走相对的两份(图2—2—3、2—2—4), 将留下的两份拌匀, 重复上述步骤, 直到剩下的土样约等于需要量为止。

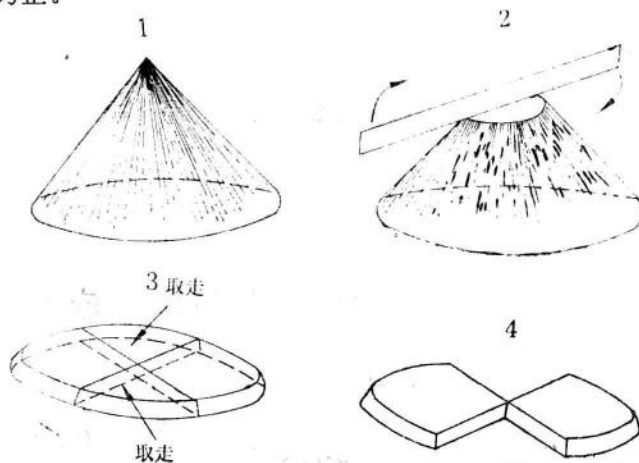


图2—2 四分法图解

2. 过筛及称重:

(1) 用普通天平称试样重量, 准确至0.1克, 记录之。

(2) 检查标准筛是否按顺序(大孔径放在上面, 小孔径放在下面)迭好, 筛孔是否干净, 若夹有土粒需刷净。然后将称好重量的试样倒入最顶层的筛盘中, 盖好盖, 用摇筛机或

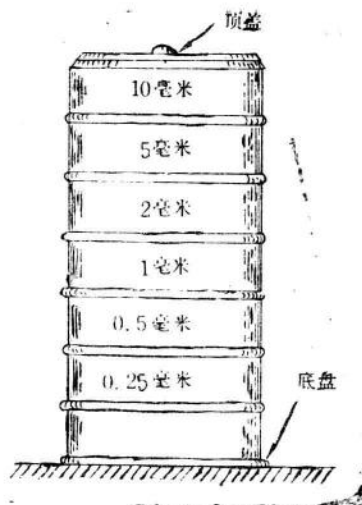


图2—1 标准筛

手进行筛析, 摇振时间一般为10~15分钟, 然后按顺序将每只筛盘取下, 在白纸上用手将筛盘轻叩, 摇晃, 直到土粒不再下漏为止。将漏在白纸上的土粒倒入下一层筛盘内, 如此顺序, 直到最末一层筛盘筛净为止。

必须注意: ①在过筛进行中, 尤其是将试样由一器皿倒入另一器皿时, 要避免或尽量减少微小颗粒的飞扬; ②过筛后, 要检查筛孔中是否夹有颗粒, 若夹有颗粒应将颗粒轻轻刷下, 放入该筛盘上的土样中。

(3) 将留在各筛盘上的土粒称重, 准确至0.1克, 并测量试样中最大颗粒的直径, 记录之。

3. 计算及误差分配:

(1) 计算各粒组重量百分含量, 准确至小数后一位。

$$X = \frac{w_s}{w} \times 100\%$$

式中 X —粒组百分含量, %;

w_s —某一粒组重量, 克*;

w —试样重量, 克。

(2) 各筛盘及底盘上土重之和与筛前所称试样的重量之差不得大于1%。可根据试验过程产生误差的原因分配给某些粒组。如在操作中细颗粒飞扬引起的误差, 则可将误差归于细粒组中 ($<0.25\text{mm}$); 如发现是称重误差, 可根据各粒组百分含量不同按比例分配。如在筛析中有丢失或其它原因, 则视情况仅分配给某几粒组。

4. 若粒径 $<0.1\text{mm}$ 的颗粒含量大于10%, 则将这一部分用沉降法继续分析。

四 实验报告内容

1. 将测试数据记录于成果表中, 根据实验成果按表1—3定出土名。

2. 绘制自然数坐标系 (以颗粒累积百分含量为纵座标, 颗粒直径为横座标) 累积曲线。

3. 求不均粒系数 (C_u) 及曲率系数 (C_c) 评价该试样的均一性。

4. 思考题:

(1) “粒组”与“粒度成份”两术语有什么区别?

(2) 试样数量的选取根据什么原则?

(3) 你的试验有无误差?若有误差如何进行分配的?为什么?

实验三 虹吸比重瓶法测定粘性土的粒度成分

一 基本原理

大小不等的土粒在静水中之沉降速度不同, 若土粒的比重相等, 悬液温度是恒定的, 由斯托克斯公式可知土粒沉降速决定于土粒直径, 即:

$$v = d^2 \cdot m \text{ 厘米/秒}$$

$$m = \frac{(G - G_{\omega t})g}{1800\eta} = \text{常数}$$

*工程单位制中的重量单位为克力 (gf) 或千克力 (kgf) 常写成克或千克。国际单位制中的重量单位为牛顿 (N)。1千克力=9.8牛顿 $\approx$ 10牛顿。

式中 v —土粒在静水中的沉降速度, 厘米/秒; G_s —土粒的比重, 克/厘米³;
 g —重力加速度, 厘米/秒²; G_w —某一温度时水的比重, 克/厘米³;
 d —土粒直径, 毫米; η —水的动力粘滞系数, 克/厘米·秒。

如果将大小不等之土粒均匀地分布在悬液中(图3—1a), 令悬液静置不动, 经一定时间 t 后, d_1 、 d_2 、 d_3 大小不同之土粒, 分别从液面下沉至深度为 h_1 、 h_2 、 h_3 处, 在这些深度以上, 不再有相应的直径为 d_1 、 d_2 、 d_3 的土粒了。如在 h_2 深度厚为 Δh 之一小薄层内, 直径小于 d_2 和等于 d_2 之土粒含量却依旧没有发生变化(图3—1b)。这样我们就可以设法从这一小薄层中, 吸取一定体积的悬液, 求出其中直径小于和等于 d_2 的土粒含量, 从而算出整个悬液中直径小和等于 d_2 的土粒的百分含量。以此类推, 可求得悬液中各种粒径的累积百分含量。

吸取一定体积悬液的仪器有三通虹吸管及移液管。本实验用三通虹吸管吸取一定体积的悬液, 吸取深度分别为5、3、2厘米, 根据斯托克斯公式计算出相应直径为0.05 mm, 0.01 mm、0.005 mm及0.002 mm土粒, 下沉至规定深度所需的时间。按计算出的时间吸取悬液, 灌满比重瓶, 称重后将称量数据直接代入计算公式, 即可求出各粒组的百分含量。

本实验的仪器装置如图(3—2)所示。

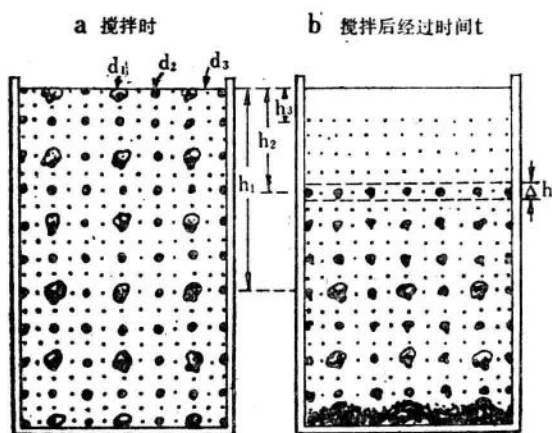


图3—1

搅拌前后悬液中土粒分布示意图

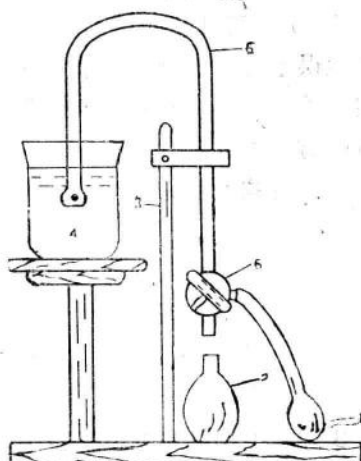


图3—2 虹吸比重瓶法仪器装置示意图

1—洗耳球 2—比重瓶 3—支架 4—烧杯

5—三通活栓 6—三通虹吸管

应用比重瓶求得土粒干重, 从而计算各粒组百分含量的原理是: 在某一温度下, 灌满比重瓶的液体体积应为一定值(图3—3)。

设: $A = w + w_o = w + v_o \cdot G_w$

$B = w + w_s + w'_o = w + w_s + v_w \cdot G_w$

式中 A —比重瓶灌满蒸馏水后的重量, 克;

G_w —水的比重, 克/厘米³;

B —比重瓶灌满悬液后的重量, 克;

w_s —土粒干重, 克;

w —比重瓶的重量, 克;

w'_o —瓶内悬液中水的重量, 克;

w_o —瓶中蒸馏水的重量, 克;

v_w —瓶内悬液中水的体积, 厘米³。

v_o —比重瓶的体积, 厘米³;

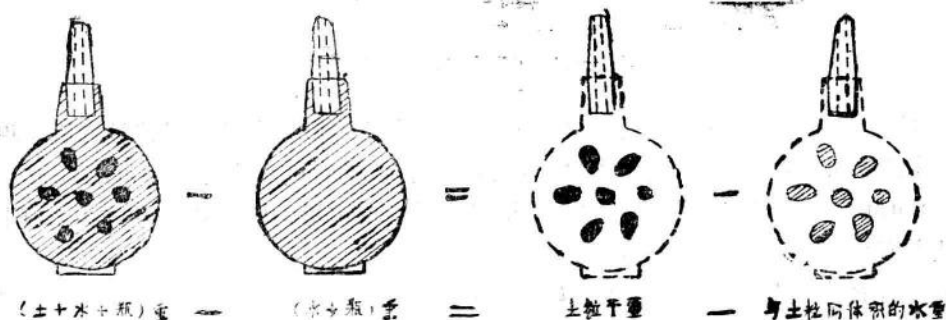


图3—3 比重瓶原理示意图

v_w 乃是瓶中除了被土粒所占的体积以外，余下的空间，为水占有，

所以 $v_w = v_o - v_s = v_o - \frac{w_s}{G_s}$

式中 v_s —土粒的体积，厘米³；

G_s —土粒的比重，克/厘米³。

这样 $B-A = w_s + v_w G_w - v_o G_w = w_s + \left(v_o - \frac{w_s}{G_s} \right) G_w - v_o G_w = w_s - \frac{w_s}{G_s} G_w$

式中 $\frac{w_s}{G_s} G_w$ 为与土粒同体积的水重，克。

所以 $B-A$ = 瓶中土粒的浮重。

$G_s - G_w$ = 土粒的单位体积浮重。

因而瓶中土粒的干重应为：

$$w_s = G_s \frac{B-A}{G_s - G_w} = \frac{G_s}{G_s - G_w} (B-A) \dots\dots (3-1)$$

制备悬液时，先将试样中大于0.1mm的土粒用筛子分离出来，而后全部移入比重瓶中，再灌满蒸馏水，称得重量 B_o 。

根据3—1式可求得试样大于0.1毫米土粒干重

$$W_{s_o} = \frac{G_s}{G_s - G_w} (B_o - A_o) \dots\dots (3-2)$$

式中 A_o 为相应于 B_o 同温度之瓶、水合重。

试样中小于0.1mm的土粒全部制成体积为 V 的悬液。在搅拌的同时，将悬液灌满体积为 v 的比重瓶，称得重量为 B_1 。根据3—1式可求得试样中 <0.1 mm的土粒干重。

$$W_{s_1} = \frac{G_s}{G_s - G_w} (B_1 - A_1) \frac{V}{v} \dots\dots (3-3)$$

式中 A_1 为相应于 B_1 同温度之瓶、水合重。

试样全部土粒的干重应是式(3—2)与式(3—3)之和，即

$$W_s = \frac{G_s}{G_s - G_w} \left[(B_o - A_o) + (B_1 - A_1) \frac{V}{v} \right] \dots\dots (3-4)$$

根据式(3—2)及式(3—4)可得大于0.1mm土粒的百分含量：

$$\frac{W_{s_o}}{W_s} \times 100\% = K_1 (B_o - A_o) \% \dots\dots (3-5)$$

式中

$$K_1 = \frac{100}{(B_0 - A_0) + (B_1 - A_1) \frac{V}{v}}$$

根据(3-3)及(3-4)式可得小于0.1mm土粒的百分含量。搅拌悬液后,根据悬液的温度,按规定的静置时间及吸液深度吸取含有<0.05mm、<0.01mm、<0.005mm、<0.002mm土粒的悬液,灌满比重瓶,相应称得各自重量为 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 ,同理可求出上述各粒径的百分含量,它们的通式是:

$$<\text{某粒径土粒的百分含量} = K_2(B_i - A_i)\% \dots\dots (3-6)$$

式中

$$K_2 = \frac{100}{(B_0 - A_0) + (B_1 - A_1) \frac{V}{v}} \frac{V}{v} = K_1 \frac{V}{v}$$

下标量 $i=1, 2, 3, 4, 5$,即相应于上述五个粒径。

$$\text{某一粒组的百分含量} = K_2[(B_i - A_i) - (B_{i+1} - A_{i+1})]\% \dots\dots (3-7)$$

若实验过程中悬液的温度不变,而又用同一个比重瓶测定 B 和 A 时,则 $A_1 = A_2 = \dots\dots = A_i$,因此可按(3-8)式直接计算各个粒组(即0.1~0.05mm、0.05~0.01mm、0.01~0.005mm、0.005mm~0.002mm)的百分含量。

$$\text{某粒组的百分含量} = K_2(B_i - B_{i+1})\% \dots\dots (3-8)$$

二 仪器设备

1. 三通虹吸管(图3-4)及支架;
2. 烧杯:容量1000毫升,在1000毫升处标有刻度;
3. 比重瓶:容量50毫升;
4. 0.1mm洗筛;
5. 大磁皿:容量1000毫升;
6. 漏斗:直径略大于洗筛直径;
7. 天平:称重200克,感量0.001克;
8. 搅拌器:直径略小于烧杯内径;
9. 比重为1.023克/立方厘米之硅酸钠溶液;
10. 三角烧瓶:容积500毫升;
11. 研钵及带有橡皮头的研棒;
12. 秒表、温度计(刻度0~50℃最小刻度单位0.5℃);
13. 电炉。

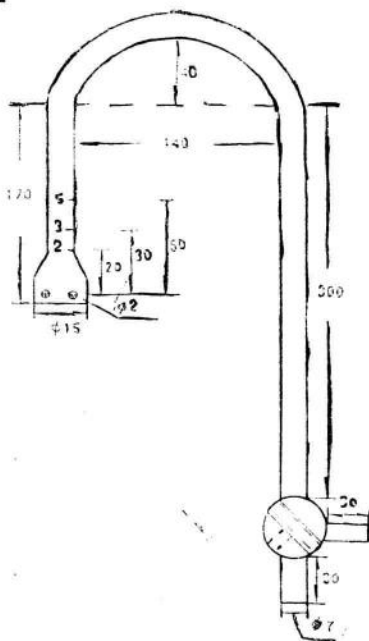


图3-4 三通虹吸管示意图

三 实验步骤

1. 取样及过筛:

(1) 取有代表性的风干土样(若土样均匀也可用天然状态土样),约200克左右,放入

研钵中，用带有橡皮研棒研散，也可用小型土样粉碎机研散。

(2) 将研散后的土样过2mm筛，直至筛上小土块全部研散，仅留大于2mm的颗粒为止，将小于2mm的土样拌匀放入皿内备用。

(3) 若土样中大于2mm土粒含量超过总量的10%以上，则按筛析法测定其含量。若土中含极少量砾石，可弃去，但须在记录中予以说明。

2. 制备悬液：采用半分散法。

(1) 将土样拌和均匀，称取试样的概略重量（粘土约10~15克、亚粘土约15~20克、亚砂土约20~30克），控制悬液浓度在1~3%之间。

(2) 将称好的试样放入小磁皿中，加蒸馏水少许，用橡皮头研棒研磨，将土中小结块研开，然后将全部土样倒入三角烧瓶中，注入约2000毫升蒸馏水、及3毫升比重为1.023的硅酸钠溶液。

(3) 将三角烧瓶稍加摇晃后，放在电炉上煮沸。煮沸时间从沸腾时开始，一般煮沸1小时左右。亚砂土可煮沸半小时左右。

(4) 将煮沸过的悬液冷却后，全部倒入蒸发皿中，静置约半分钟，将上部悬液过0.1mm洗筛入烧杯中。加水少许于皿底沉淀物上，用橡皮头研棒或手指细心研散结块，研磨后静置约半分钟，再将上部悬液过筛入烧杯。如此反复操作，直至残存于磁皿中的土粒，经研磨后不再使水浑浊为止。

(5) 将皿中剩余土粒，全部倒至0.1mm筛上冲洗，直至筛上仅留大于0.1mm的颗粒为止。（注意：每次加蒸馏水于蒸发皿中，数量要少，研磨要细致，以免制备的悬液超过1000毫升）。

(6) 加水入烧杯中，使悬液达1000毫升刻度处。

3. 测定粒径大于0.1mm土粒的瓶、水、土合重：

将留于0.1mm筛上的土粒，全部移入比重瓶中，加满水后盖好瓶塞，使多余水份自瓶塞毛细管中溢出。将瓶外水份擦干，称重得 B_0 ，准确至0.001克。当大于0.1mm土粒的含量大于10%时，这部分土粒需进行筛析。

4. 测定小于0.1mm各粒径土粒的瓶、水、土合重。

(1) 用搅拌器充分搅拌悬液，直至杯底无沉淀，悬液内土粒均匀分布时，即开始边搅拌边用三通虹吸管吸取悬液，灌满比重瓶，盖塞，擦干瓶外水份后称得重量 B_1 ，准确至0.001克。

(2) 测定悬液温度，按表(3-1)确定吸液时间和深度。

(3) 又一次充分搅拌悬液，在停止搅拌的同时，开始用秒表记时，准备吸液。

(4) 根据悬液温度，按表(3-1)中规定的时间和深度，用三通虹吸管吸取悬液，灌满比重瓶后盖塞，擦干比重瓶外部水份，称得 B_2 ，从开始吸取悬液至灌满比重瓶，必须在10秒钟内完成。

(5) 再一次搅拌悬液重新记时，吸取以下各次悬液，方法同上条规定，分别称重得 B_3 、 B_4 、 B_5 ，准确至0.001克。

也可在完成步骤(4)后，不再搅拌悬液，顺次吸液称重。

5. 三通活栓使用方法：

(1) 准备吸液。

①将三通活栓调至图3-5(A)的位置，压扁洗耳球。

悬液静置时间表 (土粒比重=2.70克/立方厘米)

表3-1

颗粒直径 (毫米)	悬液 温度℃		5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
	静置时间 吸液深度cm																	
第一次吸取 ≤0.1—B ₁	任 意		边 搅 拌 边 吸 取															
第二次吸取 ≤0.05—B ₂	5	33"	32"	30"	28"	27"	25"	24"	23"	22"	21"	20"	19"	18"	17"	16.5"	16"	
第三次吸取 ≤0.01—B ₃	5	13'38"	13'15"	12'28"	11'47"	11'09"	10'35"	10'03"	9'34"	9'04"	8'39"	8'17"	7'53"	7'34"	7'13"	6'53"	6'35"	
第四次吸取 ≤0.005—B ₄	3	32'43"	31'48"	29'55"	28'16"	26'46"	25'24"	24'07"	22'56"	21'45"	20'46"	19'53"	18'56"	18'10"	17'20"	16'30"	15'50"	
第五次吸取 ≤0.002—B ₅	2	2°16'	2°12'	2°05'	1°58'	1°52'	1°46'	1°40'	1°36'	1°31'	1°27'	1°23'	1°19'	1°16'	1°12'	1°09'	1°06'	

表中符号意义: {0}—一小时; {'}—一分; {''}—一秒。

②再将三通活栓顺时针旋至图3—5(B)的位置, 此时洗耳球处于压扁状态。

③按表(3—1)规定的深度, 在吸液前15秒钟将三通虹吸管的进液端放入悬液内。并使它在烧杯的中心部分, 而且必须垂直。

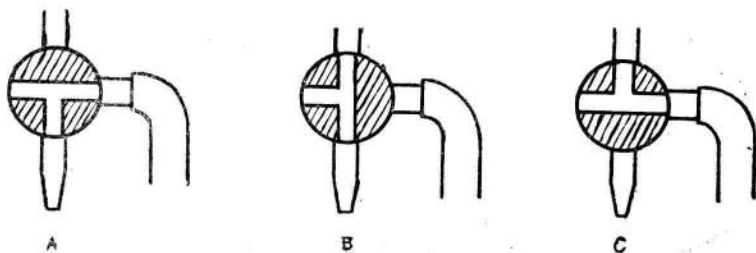


图3—5 三通活栓位置示意图

(2) 吸取悬液

①当悬液已静置到表3—1中规定的吸液时间, 将三通活栓顺时针旋至图3—5(C)的位置, 悬液进入三通虹吸管。

②当悬液经三通虹吸管的最高处, 并降落到低于杯中液面时, 立即将三通活栓逆时针地旋至图3—5(B)的位置时, 此时悬液流出灌满比重瓶。

(3) 吸液完毕

①比重瓶灌满后, 应速将三通活栓再逆时针地旋至图3—5(A)的位置。

②从悬液中取出三通虹吸管, 用清水冲洗之。

6. 测定与悬液温度一致的瓶水合重 A , 或由比重瓶校正曲线, 根据悬液的温度查得瓶、水合重。

7. 计算及误差要求

按式(3—5)计算 $>0.1\text{mm}$ 土粒占总土重的重量百分含量。按式(3—6)计算小于 0.1mm 各粒径土粒之百分含量, 从而计算各粒组之百分含量。计算准确至小数后一位。

$>0.1\text{mm}$ 土粒之百分含量与 $<0.1\text{mm}$ 土粒百分含量之和应等于 100% 。允许偶然误差 $\pm 0.1\%$ 。

四 实验报告内容

1. 实验成果记录表格、定土名。

2. 按实验六累积曲线制作方法, 作半对数坐标系累积曲线。

3. 思考题:

(1) 为什么每次吸液后不再加水于烧杯中使悬液保持1000毫升?

(2) 为什么每次吸液均由大粒径至小粒径, 先吸小的后吸大的可以吗? 为什么?

实验四 移液管法测定粘性土的粒度成分

一 基本原理

移液管是吸取液体的一种特制的玻璃仪器, 在一定温度下, 吸满移液管的液体体积为一值。本实验用该仪器吸取悬液, 以及测定被吸悬液的体积。

移液管法与虹吸比重瓶法一样，应用土粒在静水中之沉降原理根据斯托克斯公式计算：在某一温度下，悬液中直径为0.05毫米、0.01毫米、0.005毫米、0.002毫米的土粒，分别下沉至固定深度（即吸液深度，规定为10厘米或5厘米）时所需要的时间 t 。

$$t = \frac{h}{m d^2}$$

$$m = \frac{(G_s - G_w t) g}{1800 \eta}$$

式中各符号意义见实验三。

按上述时间在规定的深度，用移液管吸取一定体积的含有直径小于和等于 d 的土粒之悬液，置于坩埚中烘干称重。而后分别求出相应粒径的累积百分含量及各粒组的百分含量。

二 仪器设备

1. 移液管：容量25毫升。
(图4—1)。
2. 量筒：容量1000毫升。
3. 烘箱、水浴、电炉。
4. 铝金、坩埚（容量50毫升）。
5. 搅拌器：直径略小于量筒。
6. 其它仪器设备与虹吸比重瓶法相同。

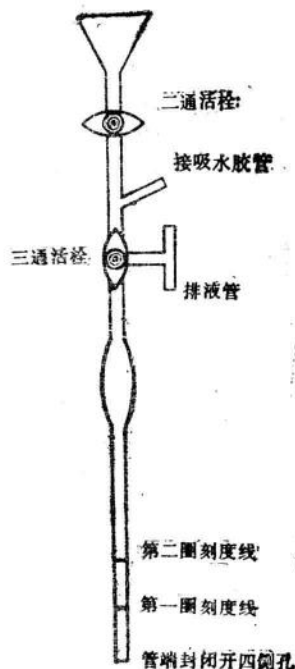


图4—1 移液管

三 实验步骤

1. 取样及制备悬液：

见“实验三”步骤1和2，但本实验取风干土样或天然土样做实验时，必须测定含水量（见实验九），以计算试样的干重。

2. 测定粒径大于0.1毫米土粒的重量：

将留于0.1毫米筛上之土粒转至坩埚中烘干，在分析天平上称重，准确至0.001克。

3. 测定小于0.1毫米各粒径土粒的重量：

(1) 测定悬液温度，由表(4—1)查出相应于某粒径悬液所需的静置时间。然后用搅拌器在量筒内上下搅拌，使土粒均匀地分布于悬液中，在搅拌器离开液面的同时，开动秒表计时。

(2) 试验时温度的测定要求，以及吸液完成的时间规定如表(4—2)。

为提高工效及减小悬液温度的变化，吸液深度可采用5厘米。

(3) 根据悬液的温度，按表(4—1)规定的悬液静置时间，用移液管顺次吸取粒径由粗到细之悬液于已知重量的坩埚中，并用蒸馏水将粘附在管壁之土粒洗入坩埚内。

(4) 将盛有悬液之坩埚放在水浴上或电炉上（注意：火要小，以防悬液溅出）蒸干，而后置于温度为100~105℃烘箱中，烘至恒重，取出放入干燥器内冷却后称重，准确至0.001克，得坩埚和土粒的重量。

4. 移液管的使用方法：

(1) 移液管体积的校正

表4—1

悬液静置时间表

悬液温度 ℃	12°		14°		16°		18°		20°		22°		24°		26°	
	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
吸液深度 (厘米)																
吸取粒径 < 0.05 毫米土的静置时间 (第一次吸液)	54"	27"	51"	25"	48"	24"	46"	23"	44"	22"	42"	21"	40"	20"	38"	19"
吸取粒径 < 0.01 毫米土的静置时间 (第二次吸液)	22' 19"	11' 09"	21' 10"	10' 35"	20' 10"	10' 05"	19' 10"	9' 35"	18' 10"	9' 05"	17' 20"	8' 40"	16' 32"	8' 16"	15' 46"	7' 53"
吸取粒径 < 0.005 毫米土的静置时间 (第二次吸液)	89' 10"	44' 35"	84' 30"	42' 15"	80' 26"	40' 13"	76' 24"	38' 12"	72' 50"	36' 25"	69' 20"	34' 40"	66' 10"	33' 05"	63' 00"	31' 30"
吸取粒径 < 0.002 毫米土的静置时间 (第四次吸液)	9° 25'	4° 42'	8° 49'	4° 24'	8° 23'	4° 11'	7° 56'	3° 58'	7° 34'	3° 47'	7° 13'	3° 36'	6° 53'	3° 27'	6° 34'	3° 17'

注：1. 表中符号：〔°〕、〔'〕、〔"〕分别代表时间单位：小时、分、秒。

2. 在上表时间的计算时，假定土粒比重为2.70克/厘米³。

吸取次数	测定悬液温度方法	吸液完成时间(秒)
第一次 粒径<0.05毫米	搅拌悬液前测记一次	5
第二次 粒径<0.01毫米	同 上	10
第三次 粒径<0.005毫米	搅拌前和吸液前10分 钟 各 测 一 次, 取平均值, 查表(4—1) 确 定吸液时间	20
第四次 粒径<0.002毫米	第一次在搅拌悬液后, 第二次在 静置中间, 第三次在吸液前10分 钟, 根据三次测记之平均温度, 查 表(4—1) 确定吸液时间	20

将洗净的移液管吸满已知温度的蒸馏水, 放入已知重量的烧杯中, 共取十次称其总重, 以便计算出移液管的准确容量,

$$\text{移液管容量} = \frac{\text{烧杯中蒸馏水的重量}}{10 \times \text{水的比重}(t^{\circ}\text{C})}$$

(2) 移液管操作方法:

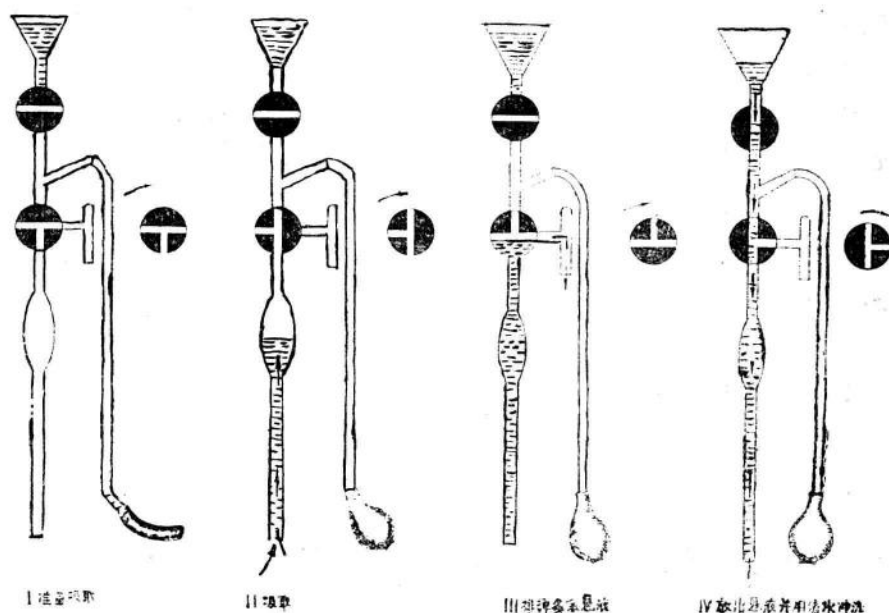


图4—2 移液管操作方法示意图

共分四个步骤(图4—2)即:

I. 准备吸取悬液。II. 吸取悬液。III. 排掉多余悬液。IV. 放出悬液并用清水冲洗。