

示范中心

土质学与土力学 试验指导书

Tuzhixue yu Tulixue
Shiyan Zhidaoshu

王 春 主编
王建设 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

学示范中心

土质学与土力学试验指导书

王 春 主 编
王建设 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是根据“土质学与土力学”课程编写的土工试验教学指导用书。本书主要包括土的颗粒分析、液塑限试验、击实试验、渗透性试验等9个试验内容。

本书可作为公路、桥梁、隧道等专业学生的土工试验教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

土质学与土力学试验指导书 / 王春主编. — 北京 :
人民交通出版社股份有限公司, 2018.4

ISBN 978-7-114-14359-5

I. ①土… II. ①王… III. ①土工试验—教学参考资料 IV. ①TU41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 024303 号

土木工程实验教学示范中心

书 名:土质学与土力学试验指导书

著 作 者:王 春

责任编辑:李 瑞

责任校对:刘 芹

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:5

字 数:112 千

版 次:2018 年 4 月 第 1 版

印 次:2018 年 4 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14359-5

定 价:20.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

本书是根据“土质学与土力学”专业基础课程教学内容编写的土工试验教学指导用书,在参考现行相关规范和规程的基础上,融入了长安大学公路学院王建设等人多年来的实践经验和教学心得,可适用于公路、桥梁、隧道等专业学生的土工试验教学。

本书主要包括土的颗粒分析试验(筛分法和密度计法)、液塑限试验(平衡锥法、搓泥条法及联合液塑限测定仪法)、击实试验、压缩试验、直剪试验(快剪法)、三轴压缩试验(UU)、渗透性试验(常水头渗透和变水头渗透)、黏土矿物成分试验(差热法)、静力触探试验9个试验项目,每个试验项目又包括了试验目的和要求、仪器设备、试样制备、操作步骤、注意事项、结果整理、试验记录7部分内容。

本书在编写过程中得到了长安大学实验室管理处、公路学院的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

编 者
2018年1月于长安大学

目 录

试验一	土的颗粒分析试验	1
试验二	土的液塑限试验	11
试验三	土的击实试验	17
试验四	土的压缩试验	21
试验五	土的直剪试验(快剪法)	25
试验六	三轴压缩试验	28
试验七	渗透性试验	34
试验八	黏土矿物成分试验(差热法)	42
试验九	静力触探试验	45
参考文献		50

试验一 土的颗粒分析试验

土的颗粒分析试验就是测定土中不同大小土粒占总土样质量百分数的试验方法,通常包括筛分法和沉降分析法(密度计法或移液管法),其中筛分法适用于粒径大于0.075mm的土粒,而沉降分析法则适用于粒径小于0.075mm的土粒,最后将筛分法和沉降分析法的结果综合在一起就可以得到完整的土样颗粒组成。本试验仅对筛分法和密度计法进行介绍。

一、筛 分 法

1. 目的和要求

目的:测定土中颗粒直径大于0.075mm、小于或等于60mm的土中各种粒径的质量百分数,为土的定名提供依据。

要求:通过试验,掌握土中粒径大于0.075mm的土颗粒组成分析过程。

2. 仪器设备

- (1)粗筛:圆孔,孔径为60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm。
- (2)细筛:孔径为2.0mm、1.0mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm。
- (3)天平:称量5000g,感量1g;称量1000g,感量0.1g;称量200g,感量0.01g。
- (4)摇筛机:筛细粒过程中应能上下振动。
- (5)其他:烘箱、搪瓷盘、筛刷、木碾、研钵、带橡皮头的研杵等。

3. 试样制备

从风(烘)干松散的土样中,用四分法按照表1-1规定取出具有代表性的试样。当试样质量小于500g时,精确至0.1g;大于500g时,精确至1g。

取样数量
表 1-1

土中最大粒径尺寸(mm)	取样数量(g)
<2	100 ~ 300
<10	300 ~ 900
<20	1 000 ~ 2 000
<40	2 000 ~ 4 000
>40	4 000 以上

4. 试验操作步骤

(1) 对于砂性土,按以下步骤进行:

①将试样过 2mm 筛,分别称筛上和筛下的土样质量。

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,可不作粗筛分析。

②取筛上试样倒入依次叠好的粗筛中,筛下试样倒入依次叠好的细筛中,进行筛析。细筛宜置于摇筛机上振筛,振筛时间宜为 10 ~ 15min。按由上而下的顺序将各筛取下,称量各级筛上及筛底内试样的质量,精确至 0.1g。

③筛后各筛及筛底中试样质量的总和与筛前试样总质量的差值,不得大于筛前试样总质量的 1%。

(2) 对于含有黏土颗粒的砂砾土,应按下述步骤进行:

①将土样用木碾充分碾散、拌匀、烘干,然后按表 1-1 规定称取代表性试样,置于盛水容器中浸泡并充分搅拌,使试样的粗细颗粒分离。

②将试样悬液过 2mm 筛(边冲洗边过筛,直至筛上仅留大于 2mm 的土粒为止),取筛上试样烘干,称烘干试样质量(精确至 0.1g),并按砂性土的步骤②、③进行粗筛分析。

③用带橡皮头的研杵研磨 2mm 筛下的悬液,过 0.075mm 筛,然后再对 0.075mm 筛上试样加水、搅拌、研磨、过筛,如此反复进行,直至悬液澄清。最后将筛上试样烘干,称烘干试样质量(精确至 0.1g),并按砂性土的步骤②、③进行细筛分析。

④用试样总质量减去大于 2mm 颗粒质量及 2 ~ 0.075mm 颗粒质量即为小于 0.075mm 颗粒质量。

⑤当粒径小于 0.075mm 的试样质量大于试样总质量的 10% 时,应按密度计法或移液管法测定粒径小于 0.075mm 的颗粒组成。

5. 注意事项

(1) 在操作过程中,应注意不要使土粒损失,以免影响试样总质量。

(2) 土在研磨时,不要用锤击,以防将砂粒击碎。

6. 结果整理

(1) 按下式计算小于某粒径颗粒的质量百分数:

$$P = \frac{m_A}{m_B} \times 100 \quad (1-1)$$

式中: P ——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 ——试样的总质量, g。

(2) 以小于某粒径的颗粒质量百分数 $P(\%)$ 为纵坐标, 粒径 $D(\text{mm})$ 为横坐标, 绘制土颗粒级配曲线。

7. 试验记录(表 1-2,图 1-1)

颗粒分析试验(筛分法) 表 1-2

班级: _____ 姓名: _____ 试验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

试验小组: _____ 土样编号: _____ 土样说明: _____

风干土质量 = g			2mm 筛上土质量 = g		
风干土含水率 = %			2mm 筛下土质量 = g		
干土质量 = g			<2mm 占总土质量百分数 = %		
<0.075mm 占总土质量百分数 = %			<2mm 取样试样质量 = g		
孔径 (mm)	留筛土质量 (g)	累计留筛土质量 (g)	小于该孔径的 土质量(g)	小于该孔径的土 质量百分数(%)	备注
60					
40					
20					
10					
5					
2					
1					
0.5					
0.25					
0.075					

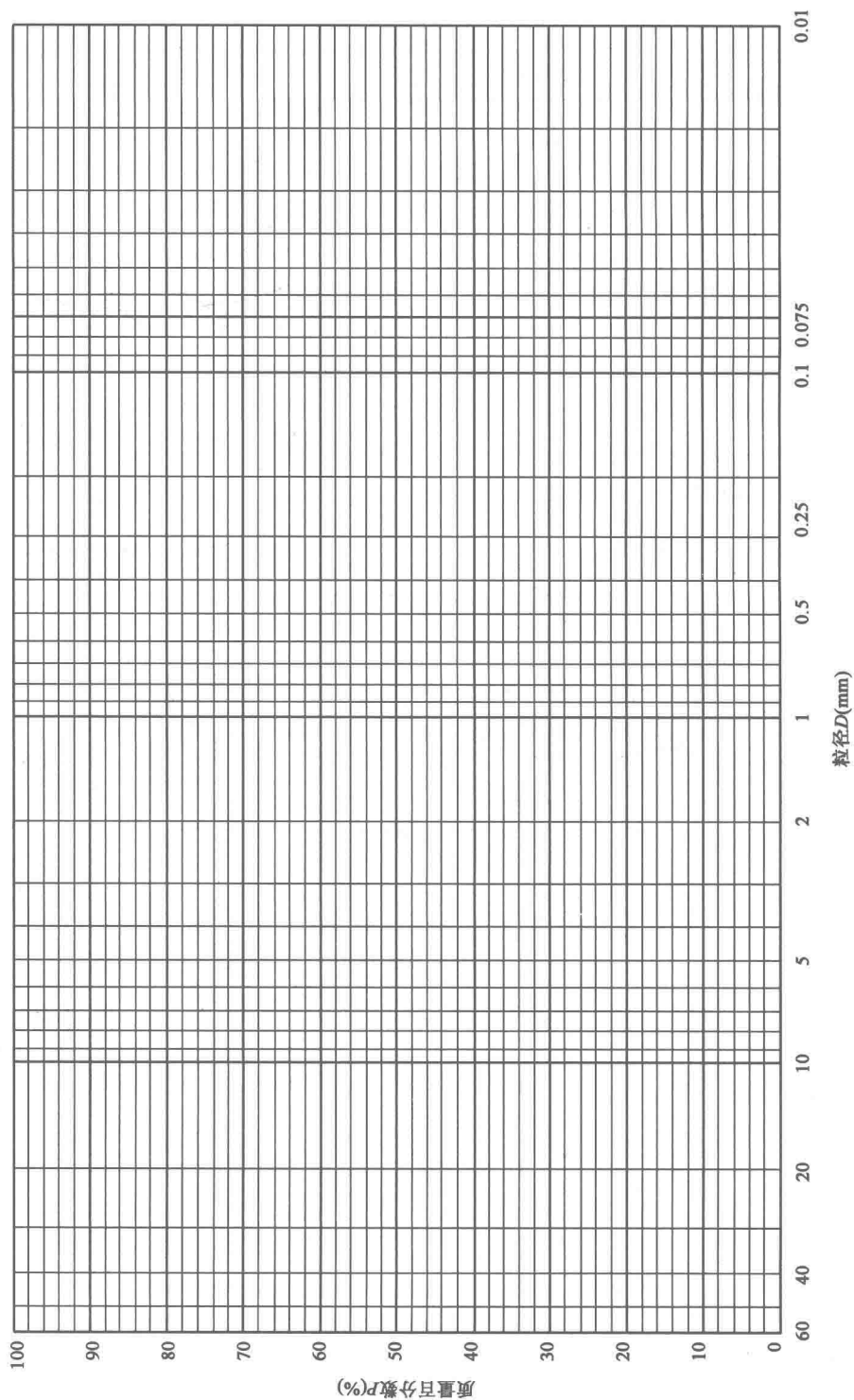


图1-1 土颗粒级配曲线

二、密度计法

1. 目的和要求

目的:应用 stokes 沉降原理,测定土中颗粒直径小于 0.075mm 的各种粒径的质量百分数,为土的定名提供依据。

要求:掌握沉降原理的概念、应用条件,以及应用密度计(本试验采用乙种密度计)进行颗粒分析的方法、操作步骤、数据处理计算方法。

2. 仪器设备

(1)密度计:乙种密度计(刻度单位以 20℃ 时悬液的比重^①表示)刻度为 0.996 0 ~ 1.020 0,最小分度值为 0.000 2。

(2)量筒:容积为 1 000mL,内径为 60mm,高度为 (350 ± 10) mm,刻度为 0 ~ 1 000mL。

(3)洗筛漏斗:上口直径略大于洗筛直径,下口直径略小于量筒直径,洗筛孔径为 0.075mm。

(4)天平:称量 1 000g,感量 0.1g;称量 200g,感量 0.01g。

(5)温度计:刻度 0 ~ 50℃,精度 0.5℃。

(6)煮沸设备:电热板或电砂浴。

(7)搅拌器:底板直径为 50mm,孔径为 3mm。

(8)三角烧瓶:容积为 500mL。

(9)其他:秒表、带橡皮头的研杵及研钵、适合于不同土质的化学分散剂[六偏磷酸钠(对加入六偏磷酸钠后产生凝聚的土,应选用其他分散剂)或焦磷酸钠等]、蒸馏水等。

3. 试样制备

采用具有代表性的风干土样 200 ~ 300g,并测定试样的风干含水率。将试样充分碾散,通过 2mm 筛,并按下式计算试样干质量为 30g 时,所需风干土质量。称量准确至 0.01g。

$$m = m_s(1 + 0.01w) \quad (1-2)$$

式中: m ——风干土质量,g;

m_s ——密度计分析所需干土质量,g;

w ——风干土的含水率,%。

4. 操作步骤

(1)称取按式(1-2)所计算的土质量,倒入三角烧瓶,注入蒸馏水 200mL,按规定加入分散剂[六偏磷酸钠(4% 浓度)10mL 或焦磷酸钠 0.75g],浸泡过夜。

(2)将浸泡过夜的悬液过 0.075mm 筛,把留在筛上的试样用水冲洗入蒸发皿内,倒去清水,烘干,称烘干试样质量,并按筛分法求筛上各粒径的质量百分数。过筛的悬液则倒回三角

^①相对密度的旧称。本书沿用《公路土工试验规程》(JTG E40—2000)的叫法。

烧瓶内,在煮沸设备上煮沸,煮沸的时间宜为 40min。

(3)悬液冷却后倒入量筒,并用蒸馏水冲洗三角烧瓶,洗液全部注入量筒,然后加蒸馏水至 1 000mL。

(4)用搅拌器沿悬液深度上下搅拌 1min,使悬液上下均匀(图 1-2),取出搅拌器,同时开动秒表,将密度计放入悬液中(图 1-3),分别测记 1min、2min、5min、15min、30min、60min、120min、240min、1 440min 时的密度计读数。

(5)密度计读数均以弯液面上缘为准(图 1-4),读数应精确至 0.000 2。每次读完数后应立即取出密度计,放入另外盛有蒸馏水的量筒中,并同时测定这一时刻的悬液温度,精确至 0.5℃。



图 1-2 搅拌器上下搅拌

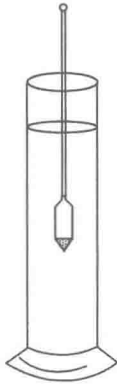


图 1-3 密度计放入悬液

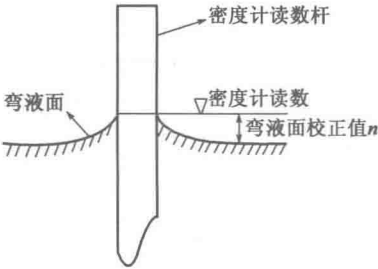


图 1-4 密度计读数示意图

5. 注意事项

- (1)试验中悬液搅拌具体时间,应根据悬液是否已搅拌均匀来确定。
- (2)密度计应放在量筒中央适当位置,慢慢放入,以免密度计上下跳动或触底而破碎。
- (3)对含水溶性盐的土,应先进行洗盐处理。

6. 结果整理

- (1)按下式计算土颗粒的粒径:

$$D = \sqrt{\frac{1\,800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w4} g} \cdot \frac{L}{t}} = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (1-3)$$

式中: D ——试样颗粒粒径, mm;

η ——蒸馏水随温度变化的动力黏滞系数(查表 1-3), $10^{-4} \text{ kPa} \cdot \text{s}$;

G_s ——土粒比重;

G_{wT} ——温度为 $T^\circ\text{C}$ (悬液温度)时水的比重;

ρ_{w4} ——温度为 4°C 时水的密度, g/cm^3 ;

g ——重力加速度, $g = 981 \text{ cm}/\text{s}^2$;

L ——相应于时间 t 的土粒有效沉降距离, cm;

t ——沉降时间, s;

K ——粒径计算系数, $K = \sqrt{\frac{1\,800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w4} g}}$ 。

水随温度而变化的黏滞系数

表 1-3

水温(℃)	黏滞系数 η	水温(℃)	黏滞系数 η	水温(℃)	黏滞系数 η
8	0.013 87	14	0.011 75	20	0.010 10
9	0.013 48	15	0.011 45	21	0.009 86
10	0.013 10	16	0.011 16	22	0.009 63
11	0.012 74	17	0.010 88	23	0.009 63
12	0.012 40	18	0.010 61	24	0.009 20
13	0.012 07	19	0.010 35	25	0.008 99

(2) 计算小于某粒径的颗粒质量百分数。

根据每一读数 R_a , 先作弯液面校正、沉降距离校正(如果采用 TM-85 型密度计, 则可免除前两项校正)、温度校正及分散校正, 然后得 R_1 , 按下式计算小于某粒径的颗粒质量百分数:

$$P = \frac{C_G \times V}{m_s} \times R_1 \times 100 \tag{1-4}$$

式中: P ——小于某粒径的颗粒质量百分数, %;

C_G ——土粒比重校正系数, $C_G = G_s / (G_s - 1)$, 可查表 1-4, G_s 为土粒比重;

V ——悬液体积, $V = 1\,000\text{mL}$;

R_1 ——校正后的密度计读数;

m_s ——试样的干土质量, g。

土粒比重校正系数 C_G 值

表 1-4

G_s	2.50	2.52	2.54	2.56	2.58	2.60	2.62	2.64	2.66	2.68
C_G	1.666	1.658	1.649	1.641	1.632	1.625	1.617	1.609	1.603	1.595
G_s	2.70	2.72	2.74	2.76	2.78	2.80	2.82	2.84	2.86	2.88
C_G	1.588	1.581	1.575	1.568	1.562	1.556	1.549	1.543	1.538	1.532

(3) 以小于某一粒径的颗粒质量百分数 $P(\%)$ 为纵坐标, 粒径 $D(\text{mm})$ 的对数为横坐标, 在半对数坐标纸上绘制土颗粒级配曲线, 求出各粒组的颗粒质量百分数, 以整数表示。

7. 试验记录(表 1-5、图 1-5)。

姓名: _____ 试验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班级: _____ 土样编号: _____
试验小组: _____ 土样说明: _____

[illegible]

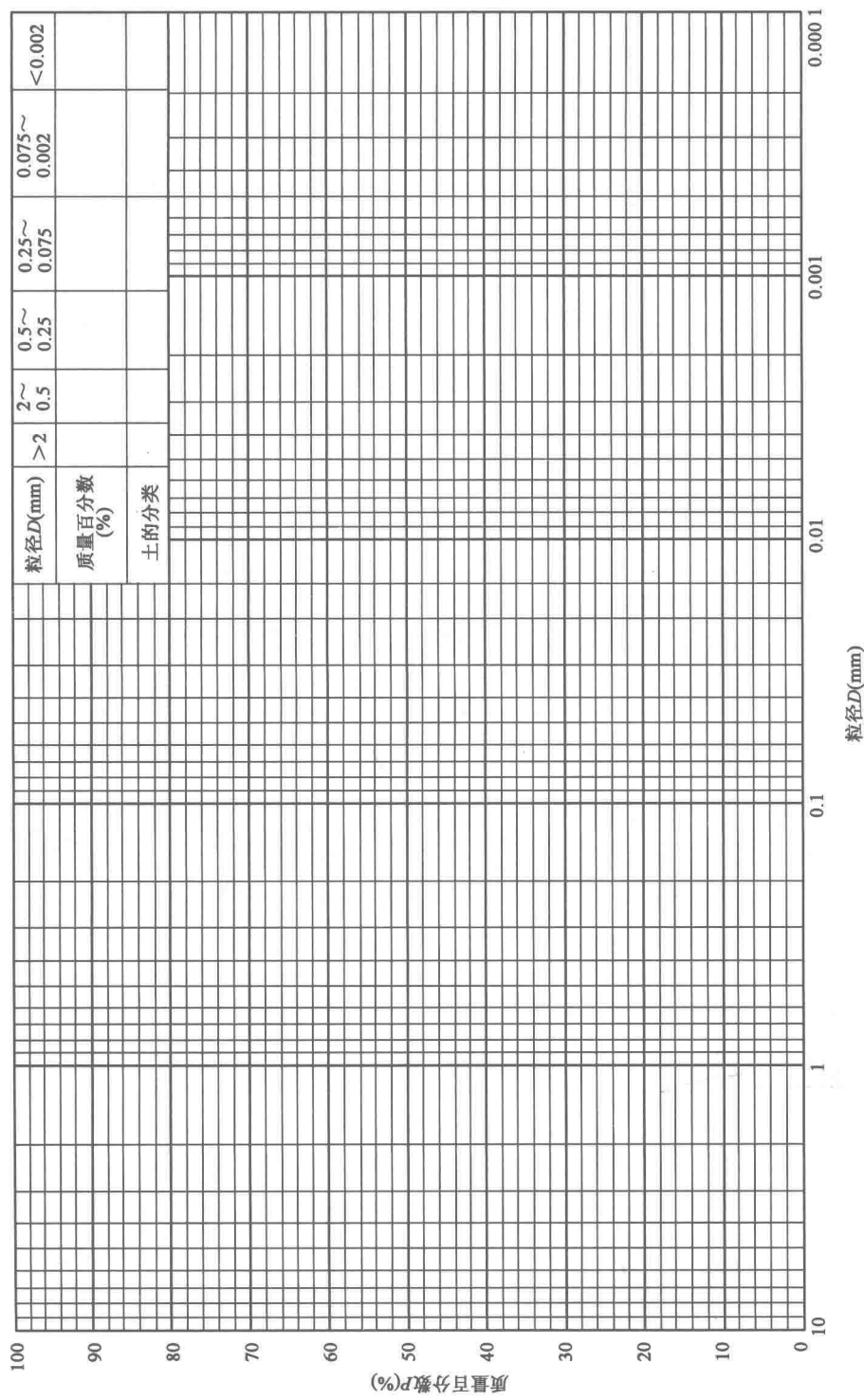


图1-5 土颗粒级配曲线

粒径计算系数 K 值

表 1-6

悬液温度 (℃)	土 粒 比 重							
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
10	0.126 7	0.124 7	0.122 7	0.120 8	0.118 9	0.117 3	0.115 6	0.114 1
11	0.124 9	0.122 9	0.120 9	0.119 0	0.117 3	0.115 6	0.114 0	0.112 4
12	0.123 2	0.121 2	0.119 3	0.117 5	0.115 7	0.114 0	0.112 4	0.110 9
13	0.121 4	0.119 5	0.117 5	0.115 8	0.114 1	0.112 4	0.110 9	0.109 4
14	0.120 0	0.118 0	0.116 2	0.114 9	0.112 7	0.111 1	0.109 5	0.108 0
15	0.118 4	0.116 5	0.114 8	0.113 0	0.111 3	0.109 6	0.108 1	0.106 7
16	0.116 9	0.115 0	0.113 2	0.111 5	0.109 8	0.108 3	0.106 7	0.105 3
17	0.115 4	0.113 5	0.111 8	0.110 0	0.108 5	0.106 9	0.104 7	0.103 9
18	0.114 0	0.112 1	0.110 3	0.108 6	0.107 1	0.105 5	0.104 0	0.102 6
19	0.112 5	0.110 8	0.109 0	0.107 3	0.105 8	0.103 1	0.102 6	0.101 4
20	0.111 1	0.109 3	0.107 5	0.105 9	0.104 3	0.102 9	0.101 4	0.100 0
21	0.109 9	0.108 1	0.106 4	0.104 3	0.103 3	0.101 8	0.100 3	0.099 0
22	0.108 5	0.106 7	0.105 0	0.103 5	0.101 9	0.100 4	0.099 0	0.097 7
23	0.107 2	0.105 5	0.103 8	0.102 3	0.100 7	0.099 3	0.097 9	0.096 6
24	0.106 1	0.104 4	0.102 8	0.101 2	0.099 7	0.098 2	0.096 0	0.095 6
25	0.104 7	0.103 1	0.101 4	0.099 9	0.098 4	0.097 0	0.095 7	0.094 3
26	0.103 5	0.101 9	0.100 3	0.098 8	0.097 3	0.095 9	0.094 6	0.093 3
27	0.102 4	0.100 7	0.099 2	0.097 7	0.096 2	0.094 8	0.093 5	0.092 3
28	0.101 4	0.099 8	0.098 2	0.096 7	0.095 3	0.093 9	0.092 6	0.091 3
29	0.100 2	0.098 6	0.097 1	0.095 6	0.094 1	0.092 8	0.091 4	0.090 3
30	0.099 1	0.097 5	0.096 0	0.094 5	0.093 1	0.091 8	0.090 5	0.089 3

乙种密度计 20℃温度校正值

表 1-7

悬液温度(℃)	温度校正值	悬液温度(℃)	温度校正值	悬液温度(℃)	温度校正值
10.0	-0.001 2	17.0	-0.000 5	24.0	+0.000 8
10.5	-0.001 2	17.5	-0.000 4	24.5	+0.000 9
11.0	-0.001 2	18.0	-0.000 3	25.0	+0.001 0
11.5	-0.001 1	18.5	-0.000 3	25.5	+0.001 1
12.0	-0.001 1	19.0	-0.000 2	26.0	+0.001 3
12.5	-0.001 0	19.5	-0.000 1	26.5	+0.001 4
13.0	-0.001 0	20.0	0.000 0	27.0	+0.001 5
13.5	-0.000 9	20.5	+0.000 1	27.5	+0.001 6
14.0	-0.000 9	21.0	+0.000 2	28.0	+0.001 8
14.5	-0.000 8	21.5	+0.000 3	28.5	+0.001 9
15.0	-0.000 8	22.0	+0.000 4	29.0	+0.002 1
15.5	-0.000 7	22.5	+0.000 5	29.5	+0.002 2
16.0	-0.000 6	23.0	+0.000 6	30.0	+0.002 3
16.5	-0.000 6	23.5	+0.000 7		

试验二 土的液塑限试验

液限和塑限在国际上称为阿太堡界限,是表征黏性土物理性质的重要指标,分别是区分土的可塑状态与流动状态以及可塑状态与半固体状态的界限含水率。液塑限测定方法有平衡锥法、碟式仪法、搓泥条法和联合测定仪法等,本试验仅对平衡锥法、搓泥条法和联合测定仪法进行介绍。

本试验的目的和要求如下。

目的:测定黏性土的液限和塑限,计算其塑性指数,为黏性土的定名提供依据。

要求:通过试验,加深理解黏性土随含水率变化的物理特性,掌握测定土的塑限、液限的方法和步骤,以及运用塑性指数对黏性土定名的方法。

一、平衡锥法、搓泥条法

1. 仪器设备

(1)平衡锥:质量 76g,锥尖夹角 30° ,锥尖至锥面最高刻度线的距离 17mm;金属底座,金属试样杯(直径 50mm,高度 40~50mm),见图 2-1。

(2)天平:称量 200g,感量 0.01g。

(3)烘箱、干燥器。

(4)其他:毛玻璃板(20cm×30cm)、铝盒、调土刀、调土皿、筛(孔径 0.5mm)、研钵及带橡皮头的研杵、吸管、凡士林、蒸馏水、小刀等。

2. 试样制备

试样宜采用风干土样和天然含水率土样,通过 0.5mm 筛,且有机质含量小于 5% 的土。

3. 操作步骤

(1)液限平衡锥法

①取 0.5mm 筛下的代表性试样 200g,放入调土皿中,加一定数量的蒸馏水,调匀制成一定稠度的试样,盖上湿布,放置 18h 以上。

②将制备的试样搅拌均匀,填入试样杯中,试样较干时应充分搓揉,密实地填入试样杯中,填满后刮平表面。

③将试样杯放在平衡锥的底座上,在锥面上抹一薄层凡士林,两指捏住平衡锥手柄,保持锥体垂直。当锥尖与土样表面刚好接触的时候,轻轻松手让平衡锥靠着自重自由下落沉入土样中。

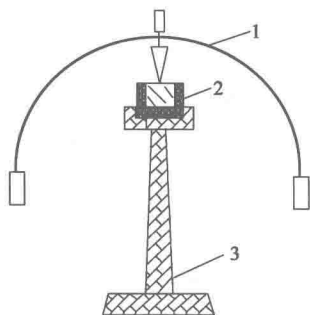


图 2-1 平衡锥示意图

1-平衡锥;2-试样杯;3-底座

④在平衡锥松手的同时,开始计时,并在平衡锥下落 5s 时判断其锥入深度,如果 5s 时锥入深度恰好是 17mm,则此时试样杯内土的含水率即为所测土样的液限值。

⑤如果平衡锥下落 5s 时,锥入深度小于或大于 17mm,则说明杯内试样含水率低于或高于液限值,此时应用小刀挖除试样杯内沾有凡士林的土,然后将剩余土样全部取出,并放入调土皿中,与调土皿中之前剩余土样一起,再适当加水或略作风干(根据锥入深度小于或大于 17mm 确定)后重新搅拌均匀,然后再重复步骤②~④。

⑥当锥入深度满足要求时,取出锥体,用小刀挖除沾有凡士林的土,然后取锥孔附近土样 15~20g,放入一个铝盒内,将盒盖盖好。

⑦将试样杯内剩余土样取出与调土皿中剩余土样重新搅拌均匀,再重复步骤②~④进行平行试验。当锥入深度仍然满足要求时,按步骤⑥要求再次取样放入另一个铝盒内。

⑧测定两个铝盒土样的含水率,两个铝盒为平行试验,其差值应不大于 2%。满足要求时计算其平均含水率作为此土样的液限值。

(2) 塑限搓泥条法

①取 0.5mm 筛下的代表性试样 200g,放入调土皿中,加一定数量的蒸馏水,调匀制成一定稠度的试样,盖上湿布,放置 18h 以上。

②将制备的试样搅拌均匀,取 8~10g 捏成条,然后放在毛玻璃板上(毛面)用手掌边缘一侧与土条平行方向均匀施加压力轻轻揉搓。

③当搓至土条直径接近 3mm 时,土条表面出现裂缝,当继续搓至 3mm 时,土条断裂成 8~10mm 的小土条,此时说明所搓土条的含水率即为其塑限含水率,然后取断裂成 8~10mm 的小土条至少 8 条以上放入一个铝盒,盖紧盒盖;再进行平行试验,要求至少进行两次平行测定,最后取其平均含水率作为所测土样的塑限值。

④如果土条直径搓至 3mm 时仍未产生裂缝或未搓至 3mm 时已开始断裂,则说明试样的含水率高于或低于塑限含水率,此时都应重新取样进行试验。

4. 注意事项

(1)将制备好的土样装入试样杯时,土中不能留有空隙,即装满土样的试样杯中不允许有密闭气体存在。

(2)判断平衡锥锥尖是否与土样表面刚好接触时以及锥入深度是否刚好 17mm 时,视线都应土杯表面平齐,即沿土杯表面平视。

(3)搓泥条时,土条长度不宜超过手掌宽度,且在任何情况下都不能出现空心情况。

(4)若土条在任何含水率下都始终搓不到 3mm 即开始断裂,则认为该土无塑性。

(5)不论液限还是塑限测试,在制备试样时,加水量都应由少至多,逐渐让土样含水率接近液限值或塑限值,以尽量减少试验次数。

5. 结果整理

(1)液限值应按下列式计算:

$$w_L = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (2-1)$$