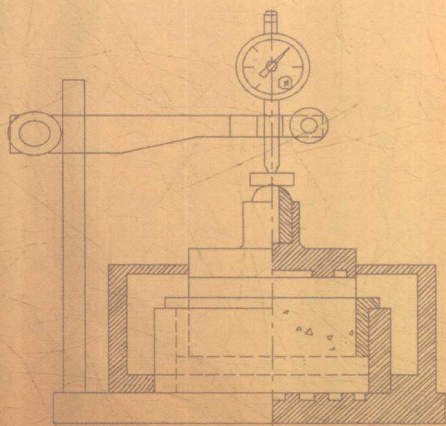


# 土力学实验指导

黄金林 余长洪 主编



科学出版社

# 土力学实验指导

黄金林 余长洪 主编



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书根据土力学实验大纲编写而成, 主要介绍土力学研究中常用的 10 个试验, 对各试验的试验原理、试验方法和试验数据处理等问题做了较为详尽的介绍和说明。本书分为基础试验和试验报告两部分, 方便学生使用。

本书可供高等院校土木工程、水利水电工程、交通工程等专业的学生使用, 也可供相关专业的设计人员和科研工作者阅读使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学实验指导/黄金林, 余长洪主编. —北京: 科学出版社, 2018.1  
ISBN 978-7-03-054830-6

I. ①土… II. ①黄… ②余… III. ①土力学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TU43-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 253749 号

责任编辑: 郭勇斌 彭婧煜 / 责任校对: 王 瑞  
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 蔡美宇

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 8

字数: 136 000

定价: 29.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 本书编委会

主 编：	黄金林	华南农业大学
	余长洪	华南农业大学
编 委：	李就好	华南农业大学
	李 青	华南农业大学
	姜俊红	华南农业大学
	胡 威	华南农业大学
	鞠海燕	南昌工程学院
	罗昌泰	南昌工程学院
	颜 涛	南昌工程学院
	王英浩	内蒙古科技大学

# 目 录

## 第一部分 基础试验

试验一 土的颗粒分析试验	3
试验二 土粒比重试验	15
试验三 含水率试验	25
试验四 液塑限试验	29
试验五 土的密度试验	34
试验六 渗透试验	41
试验七 土的击实试验	48
试验八 固结试验	56
试验九 直接剪切试验	64
试验十 三轴压缩试验 (演示型)	70

## 第二部分 试验报告

试验一 土的颗粒分析试验	97
试验二 土粒比重试验	100
试验三 含水率试验	101
试验四 液塑限试验	102
试验五 土的密度试验	104
试验六 渗透试验	106
试验七 土的击实试验	108
试验八 固结试验	110
试验九 直接剪切试验	112
试验十 三轴压缩试验 (演示型)	115
参考文献	119

# 第一部分

## 基础试验



# 试验一 土的颗粒分析试验

## 一、试验目的

土由各种大小和形状不同的颗粒所组成，根据颗粒的大小划分为若干组，称为颗粒粒组。颗粒组成就是土中各种粒径范围的粒组的相对比例，通常用占总土质量的百分数来表示。

- (1) 测定土中各颗粒粒组所占该土总质量的百分数，借以明了颗粒大小分布及级配组成。
- (2) 供土的分类及概略判断土的工程性质及选料之用。
- (3) 熟练掌握土的颗粒分析的各种试验方法。

## 二、试验方法

根据颗粒大小及级配情况，颗粒大小分析的试验方法可以分为两大类：一是机械分析方法，如筛析法；二是物理分析方法，如密度计法、移液管法等。

- (1) 筛析法适用于粒径大于 0.075 mm、不大于 60 mm 的土。
- (2) 密度计法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。
- (3) 移液管法适用于粒径小于 0.075 mm 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。

### (一) 筛析法

#### 1. 试验原理

筛析法是利用一套孔径不同的标准筛来分离一定量的土中与筛孔径相应的粒组，然后称量，计算各粒组的相对含量，确定土的粒度成分。



## 2. 仪器设备

(1) 分析筛据孔径大小分粗筛和细筛两类。

粗筛一般为圆孔，孔径为 100 mm、80 mm、60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm；

细筛一般为方孔，孔径为 2.0 mm、1.0 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.10 mm、0.075 mm。标准筛如图 1-1 所示。

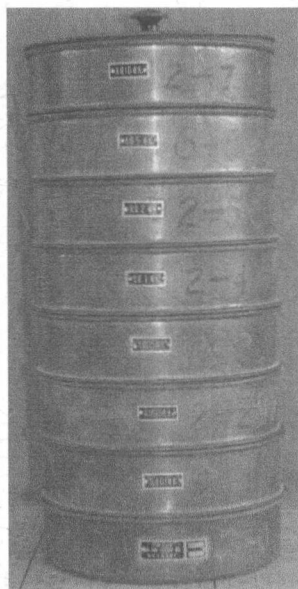
(2) 分析天平。

分析天平依称量范围和精度有以下三种：

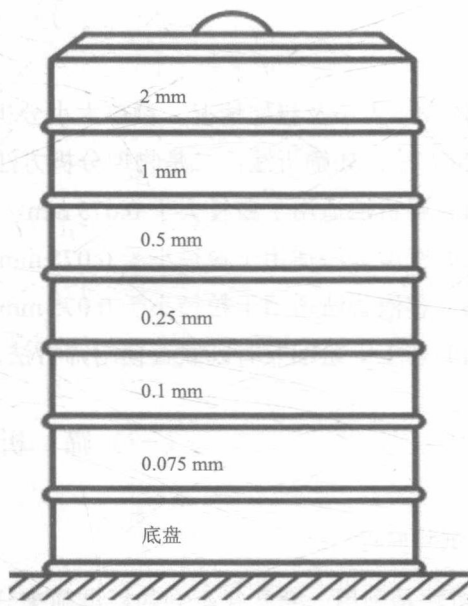
- 1) 最大称量 10 kg，分度值 1 g；
- 2) 最大称量 1000 g，分度值 0.1 g；
- 3) 最大称量 200 g，分度值 0.01 g。

(3) 摇筛机。摇筛机能够在水平方向摇振，垂直方向拍击。摇振次数为 100~200 次/min，拍击次数为 50~70 次/min；

(4) 辅助设备。辅助设备包括：烘箱、量筒、漏斗、瓷杯、研钵、瓷盘、毛刷、匙、木碾、白纸等。



(a) 标准筛实物图



(b) 标准筛示意图

图 1-1 标准筛

### 3. 试验步骤

(1) 风干土样，将土样摊成薄层，在空气中放 1~2 d，使土中水分蒸发。若土样已干，则可直接使用。用四分法取土，取土数量按表 1-1 执行，称量准确至 0.1 g。

表 1-1 筛分法取土数量

最大粒径/mm	≤2	≤10	≤20	≤40	>40
取样质量/g	100~300	300~900	1000~2000	2000~4000	>4000

(2) 将试样过 2 mm 筛，分别称出筛上土和筛下土质量。取 2 mm 筛上土倒入依次叠好的粗筛的最上层筛中，取 2 mm 筛下土倒入依次叠好的细筛的最上层筛中（分析筛自上至下按孔径自大至小叠放）。用摇筛机充分筛析至各筛上土粒直径大于筛孔孔径，一般摇振 15~30 min。

(3) 检查各筛内是否有团粒存在，若有则碾散再过筛。

(4) 由最大孔径筛开始，将各筛取下，在白纸上用手轻叩摇晃，如有土粒漏下，应继续轻叩摇晃，直至无土粒漏下为止。漏下的土粒应全部放入下级筛内。逐次检查至盘底。

(5) 将留在各筛上的土样分别倒在白纸上，用毛刷将走色中土粒轻轻刷下，再分别倒入瓷杯内，称量准确至 0.1 g。

(6) 各细筛上及底盘内砂土质量总和与筛前称量的砂土样总质量之差不得大于 1%。

### 4. 试验数据整理

(1) 按式 (1-1) 计算小于某粒径的试样质量占总质量的百分数：

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

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）；

$m_B$ ——用标准细筛分析时所取的试样质量 (g)。

(2) 以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数为纵坐标, 以粒径 (mm) 的对数为横坐标, 绘制粒径分布曲线。

(3) 计算级配指标。

1) 按式 (1-2) 计算粒径分布曲线的不均匀系数:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-2)$$

式中,  $C_u$ ——不均匀系数;

$d_{60}$ ——限制粒径, 在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的 60% 的粒径;

$d_{10}$ ——有效粒径, 在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的 10% 的粒径。

2) 按式 (1-3) 计算粒径分布曲线的曲率系数:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \quad (1-3)$$

式中,  $C_c$ ——曲率系数;

$d_{30}$ ——在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的 30% 的粒径;

$d_{60}$ 、 $d_{10}$ ——同公式 (1-2)。

(4) 对试样土料分类并作出级配良好与否的判断。

依据土的分类标准对土样进行分类, 定名为粗砂、中砂、细砂、粉砂等; 当粒径分布曲线的  $C_u \geq 5$  且  $C_c = 1 \sim 3$  时, 级配良好, 否则为级配不良。

## 5. 试验记录

筛析法试验的记录格式见表 1-2。

表 1-2 颗粒分析试验记录 (筛析法)

试验名称: _____	试验者: _____	试验组别计算者: _____
试验日期: _____	校核者: _____	风干土质量 = _____ g
小于 0.075 mm 的土占总土质量百分数 = _____ %		
2 mm 筛上土质量 = _____ g	小于 2 mm 的土占总土质量百分数 $d_x$ = _____ %	
2 mm 筛下土质量 = _____ g	细筛分析时所取试样质量 = _____ g	

续表

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					

## (二) 密度计法

### 1. 试验原理

对于粒径小于 0.075 mm 的细粒土, 采用密度计法。小球体在水中下沉时满足: ①小球体在水中沉降的速度是恒定的; ②小球体沉降速率与球体直径  $d$  的平方成正比。密度计法正是利用这一原理来进行颗粒分析的。

密度计是测定液体密度的仪器。它的主体是个玻璃浮泡, 浮泡下端有固定的重物, 使密度计能直立地浮于液体中; 浮泡上为细长的刻度杆, 其上有刻度数和读数。目前, 使用的有甲种密度计和乙种密度计两种型号, 甲种密度计刻度杆上的刻度单位表示 20℃ 时每 1000 ml 悬液内所含土粒的质量。由于受试验室等多种因素的影响, 若悬液温度不是 20℃ 时, 悬液的密度或土粒质量必须将初读数经温度校正; 此外, 还需进行弯月面校正、刻度校正、分散剂校正。

已知密度的均匀悬液在静置过程中, 由于不同粒径土粒的下沉速度不同, 粗细颗粒发生分异现象。随粗颗粒不断沉至容器底部, 悬液密度逐渐减小。密度计在悬液中之沉浮取决于悬液之密度变化。密度大时浮得高, 读数大; 密度小时浮得低, 读数小。若悬液静置一定时间  $t$  后, 将密度计放入盛有悬液的量筒中, 可根据密度计刻度杆与液面指示的读数测得某深度  $H_t$  (称有效深度) 处的密度, 并可通过计算求出下沉至  $H_t$  处的最大粒径  $d$ ; 同时, 即可求出  $H_t$  处单位体积悬液中直径小于  $d$  的土粒含量, 以及这种土粒在全部土样中所占的百分含量。由于悬液在

静置过程中密度逐渐减小，相隔一段时间测定一次读数，就可以求出不同粒径在土中之相对含量。

## 2. 仪器设备

### (1) 密度计。

甲种密度计刻度单位以 20℃ 时每 1000 ml 悬液内所含土质量的克数表示，刻度为 -5° ~ 50°，分度值为 0.5°。

乙种密度计刻度单位以 20℃ 时悬液的比重表示，刻度为 0.995 ~ 1.020，分度值 0.000 2。

### (2) 量筒。

量筒高约 45 cm，直径约 6 cm，容积 1000 ml，刻度为 0 ~ 1000，分度值为 10 ml。

### (3) 试验筛。

细筛：孔径 2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.1 mm。

洗筛：孔径 0.075 mm。

### (4) 天平。

1) 最大称量 1000 g，分度值 0.1 g；

2) 最大称量 500 g，分度值 0.01 g；

3) 最大称量 200 g，分度值 0.001 g。

### (5) 温度计。

刻度 0 ~ 50℃，分度值 0.5℃。

### (6) 洗筛漏斗。

直径略大于洗筛直径使洗筛恰可套入漏斗中。

### (7) 搅拌器。

轮径 50 mm，孔径 3 mm，杆长约 450 mm，带螺旋叶。

### (8) 煮沸设备，附冷凝管。

### (9) 其他。

秒表、锥形瓶、研钵、木杵、电导率仪等。

## 3. 试验试剂

(1) 分散剂：过氧化氢溶液浓度 6% 过氧化氢溶液、1% 硅酸钠、4% 六偏磷酸钠。

(2) 水溶盐检验试剂：10% 盐酸、5% 氯化钡、10% 硝酸、5% 硝酸银。

#### 4. 试验步骤

(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。具体方法步骤详见《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)。

(2) 称取具有代表性风干试样 200~300 g, 过 2 mm 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  $\omega$ 。

(3) 将土样拌和均匀, 称取 30 g 的风干土样作为试样, 按式 (1-4)、(1-5) 计算洗盐后的试样质量  $m_0$  :

当易溶盐含量 < 1% 时,

$$m_0 = 30(1 + 0.01\omega) \quad (1-4)$$

当易溶盐含量  $\geq$  1% 时,

$$m_0 = [30(1 + 0.01\omega)] / (1 - \omega) \quad (1-5)$$

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

(5) 试验冷却后, 搅拌, 静置 1 min, 通过洗筛漏斗将上部悬液过 0.075 mm 筛, 遗留杯底的沉淀物用研杆研散, 再加适量的水搅拌, 静置 1 min, 再将上部悬液过 0.075 mm 筛, 如此重复清洗 (每次清洗, 最后所得悬液不得超过 1000 ml) 直至锥形瓶中上部悬液清澈。

(6) 向量筒中加入 4% 六偏磷酸钠 10 ml, 再注入纯水至 1000 ml。将搅拌器放入量筒中, 沿悬液深度上下搅拌 1 min, 取出搅拌器, 立即开动秒表, 将密度计放入悬液中, 测记 0.5 min、1 min、2 min、5 min、15 min、30 min、60 min、120 min 和 1440 min 时的密度计读数。每次读数均应在预定时间前 10~20 s 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。

(7) 密度计读数均以弯月面上缘为准, 甲种密度计应准确至 0.5, 乙种密度计应准确至 0.000 2。每次读数后, 应取出密度计放入盛有纯水的量筒中 (0.5 min、1 min 时除外), 并应测定相应的悬液温度计准确至 5℃, 放入或取出密度计时, 应小心轻放, 不得扰动悬液。

(8) 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比应按式 (1-6)、式 (1-7) 计算。

甲种密度计

$$x = \frac{100}{m_d} C_s (R + m_t + n - C_D) \quad (1-6)$$

乙种密度计

$$x = \frac{100V_x}{m_d} C'_s [(R' - 1) + m'_t + n' - C'_D] \rho_{w,20} \quad (1-7)$$

式中,  $x$ ——小于某粒径的试样质量百分比 (%) ;

$m_d$ ——试样干质量 (g) ;

$C_s$ 、 $C'_s$ ——土粒比重校正值 (查表 1-3) ;

$m_t$ 、 $m'_t$ ——悬液温度校正值 (查表 1-4) ;

$n$ 、 $n'$ ——弯月面校正值;

$C_D$ 、 $C'_D$ ——分散剂校正值;

$R$ 、 $R'$ ——甲种、乙种密度计读数;

$V_x$ ——悬液体积 (ml) ;

$\rho_{w,20}$ ——20°C时纯水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

(9) 试样颗粒粒径按式 (1-8) 计算:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \eta}{(d_s - d_{w,T}) \rho_{w,T} \cdot g \cdot t} \cdot L} \quad (1-8)$$

式中,  $d$ ——试样颗粒粒径 (mm) ;

$\eta$ ——水的动力黏滞系数 ( $10^{-6} \text{kPa} \cdot \text{s}$ ) (查表 1-5) ;

$d_s$ ——土粒的比重;

$d_{w,T}$ —— $T^\circ\text{C}$ 时水的比重;

$\rho_{w,T}$ ——4°C时纯水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ;

$L$ ——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 ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )。

(10) 粒径分布曲线, 应按筛析法中规定的步骤绘制, 当用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粒径分布曲线; 并将两段曲线连成一条平滑的曲线。

表 1-3 土粒比重校正值

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

表 1-4 温度校正值

悬液温度/°C	甲种密度计温度校正值	乙种密度计温度校正值	悬液温度/°C	甲种密度计温度校正值	乙种密度计温度校正值	悬液温度/°C	甲种密度计温度校正值	乙种密度计温度校正值
10.0	-2.0	-0.001 2	17.0	-0.8	-0.000 5	24.0	1.3	0.000 8
10.5	-1.9	-0.001 2	17.5	-0.7	-0.000 4	24.5	1.5	0.000 9



续表

悬液 温度/°C	甲种密度计 温度 校正值	乙种密度计 温度 校正值	悬液 温度/°C	甲种密度计 温度 校正值	乙种密度计 温度 校正值	悬液 温度/°C	甲种密度计 温度 校正值	乙种密度计 温度 校正值
11.0	-1.9	-0.001 2	18.0	-0.5	-0.000 3	25.0	1.7	0.001 0
11.5	-1.8	-0.001 1	18.5	-0.4	-0.000 3	25.5	1.9	0.001 1
12.0	-1.8	-0.001 1	19.0	-0.3	-0.000 2	26.0	2.1	0.001 3
12.5	-1.7	-0.001 0	19.5	-0.1	-0.000 1	26.5	2.2	0.001 4
13.0	-1.6	-0.001 0	20.0	0	0	27.0	2.5	0.001 5
13.5	-1.5	-0.000 9	20.5	0.1	0.000 1	27.5	2.6	0.001 6
14.0	-1.4	-0.000 9	21.0	0.3	0.000 2	28.0	2.9	0.001 8
14.5	-1.3	-0.000 8	21.5	0.5	0.000 3	28.5	3.3	0.001 9
15.0	-1.2	-0.000 8	22.0	0.6	0.000 4	29.0	3.3	0.002 1
15.5	-1.1	-0.000 7	22.5	0.8	0.000 5	29.5	3.5	0.002 2
16.0	-1.0	-0.000 6	23.0	0.9	0.000 6	30.0	3.7	0.002 3
16.5	-0.9	-0.000 6	23.5	1.1	0.000 7			