



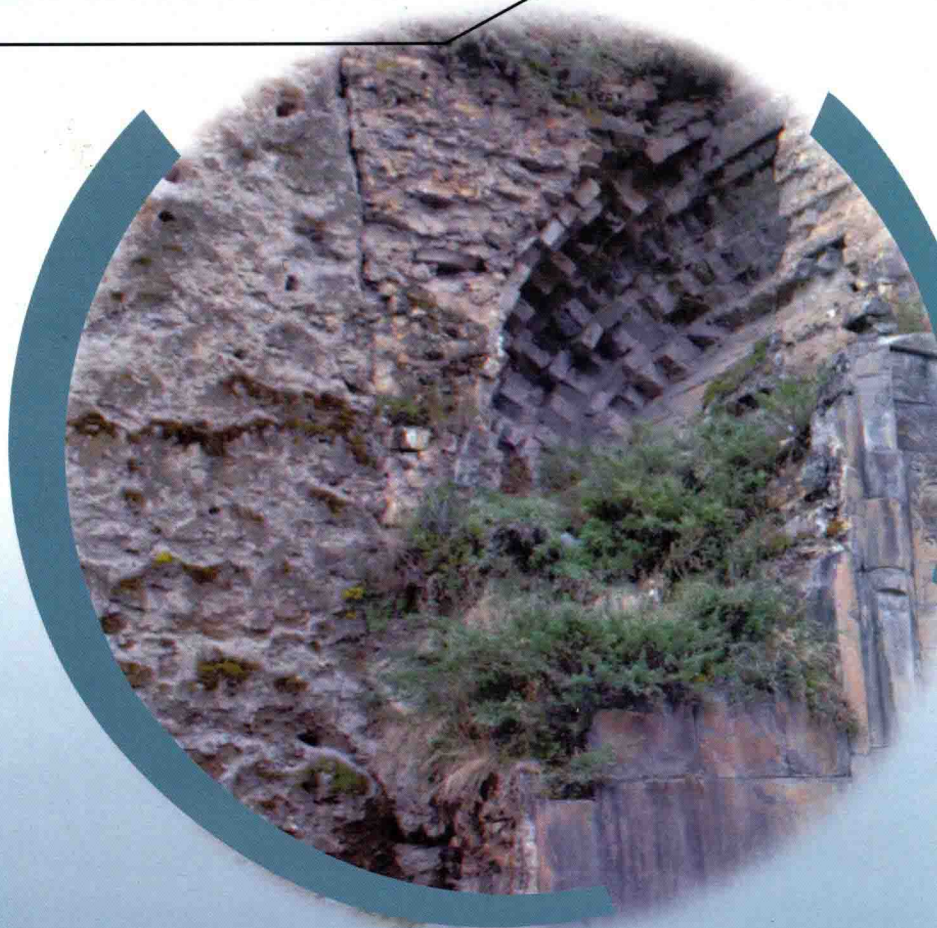
高等职业技术教育“十二五”规划教材

——土木工程类

TUGONG SHIYAN
ZHIDAO JI SHIYAN BAOGAO

土工试验 指导及试验报告

主 编 肖春平



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业院校“十二五”规划教材——土木工程类

土工试验指导及试验报告

肖春平 主编

专业 _____

班级 _____

组别 _____

学号 _____

姓名 _____

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

土工试验指导及试验报告 / 肖春平主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2013.3
高等职业技术学院“十二五”规划教材. 土木工程类
ISBN 978-7-5643-2221-2

I. ①土… II. ①肖… III. ①土工试验—高等职业教
育—教材 IV. ①TU41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 040792 号

高等职业技术学院“十二五”规划教材——土木工程类
土工试验指导及试验报告
肖春平 主编

责任编辑	王 旻
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	4.625
字 数	116 千字
版 次	2013 年 3 月第 1 版
印 次	2013 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2221-2
定 价	14.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据职业院校铁道施工与养护专业、道路桥梁工程技术专业教学的基本要求并结合工程实际需要编写的。

本书分为两部分，第一部分为土工试验指导书，主要介绍常规的土工试验方法，同时也介绍了目前我国高速铁路路基的试验方法；第二部分为土工试验报告，供学生练习用。编写采用的主要规程有：《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010 J1135—2010)、《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)。

本书适合职业院校土木工程类专业学生在校学习土工试验用，也可作为施工现场试验人员的参考用书。

由于编者的专业知识和实践经验有限，本书缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2013年2月

目 录

第一部分 土工试验指导书

试验一	颗粒分析试验(筛分法)	1
试验二	密度试验(环刀法)	3
试验三	颗粒密度试验(量瓶法)	5
试验四	含水率试验	7
试验五	虹吸筒法测颗粒密度	8
试验六	浮称法测颗粒密度	9
试验七	液限试验	10
试验八	塑限试验	12
试验九	液、塑限联合试验	13
试验十	击实试验	15
试验十一	密度试验(灌砂法)	19
试验十二	黏性土压缩试验	22
试验十三	直接剪切试验	24
试验十四	干砂的相对密度试验	26
试验十五	K_{30} 平板载荷试验	28
试验十六	动态变形模量(E_{vd})试验	31
试验十七	静态变形模量(E_v)试验	34
附录一	高速铁路路基压实标准	39
附录二	数据处理	40
附录三	纯水密度表	42

第二部分 土工试验报告

试验一	颗粒分析试验报告(筛分法)	45
试验二	密度试验报告(环刀法)	48
试验三	颗粒密度试验报告(量瓶法)	49
试验四	含水率试验报告	50

试验五	虹吸筒法测颗粒密度试验报告	51
试验六	浮称法测颗粒密度试验报告	52
试验七	液限试验报告	53
试验八	塑限试验报告	54
试验九	液、塑限联合试验报告	55
试验十	击实试验报告	57
试验十一	密度试验报告(灌砂法)	59
试验十二	黏性土压缩试验报告	60
试验十三	直接剪切试验报告	65
试验十四	干砂的相对密度试验报告	67
试验十五	K_{30} 平板载荷试验报告	68

第一部分 土工试验指导书

试验一 颗粒分析试验（筛分法）

对土颗粒的组合进行试验研究称为颗粒分析，也就是测定各种粒组土质量占该土总量的百分比。

一、试验目的

了解颗粒大小分配情况，为土的分类定名、概略判断土的工程性质及工程材料选用提供数据。

二、试验方法

1. 筛分法：适用于粒径大于 0.075 mm 的土。
2. 密度计法：适用于粒径小于 0.075 mm 的土。
3. 若土中既有粒径大于 0.075 mm 的颗粒，又有粒径小于 0.075 mm 的土颗粒，各超过总质量的 10%时，应联合使用筛分法及密度计法或移液管法。

本试验采用筛分法。

三、仪器设备

1. 土壤标准筛一套：

(1) 粗筛：孔径为 60、40、20、10、5、2 mm；

(2) 细筛：孔径为 1、0.5、0.25、0.075 mm。

2. 天平：称量 5 000 g，感量 1 g；称量 1 000 g，感量 0.1 g；称量 200 g，感量 0.01 g。

3. 其他用具：铝勺、铜丝刷、毛刷、方盘等。

4. 筛分法的取样数量应符合表 1.1 规定。

表 1.1 筛分法的取样数量表

土粒粒径 (mm)	取样数量 (g)
<2	100 ~ 300
<10	300 ~ 1 000
<20	1 000 ~ 2 000
<40	2 000 ~ 4 000
<60	4 000 以上

四、操作步骤

1. 根据土粒粒径称取风干的代表性试样。

2. 用铜丝刷或毛刷将土壤标准筛清理干净，然后依孔径大小顺序重叠好，最下面放置底盘。

3. 将称好的试样倒入最上层筛中，加盖，用手轻拍并水平摇晃筛子约 10 min。

4. 从最大孔径开始，依次将各个筛子取下放置在白方盘上，用手轻拍并摇晃筛子，直到没有细土粒漏下为止；将漏在白方盘上的细土粒全部倒入下一级孔径的筛子中。

5. 将各筛子中未漏下或卡在筛孔里的土粒用刷子刷出，分别称出其质量 m_i 。

6. 计算留在各筛及底盘内的土的质量总和 $\sum m_i$ ，与试验前的总质量 M 的差值应小于或等于试验前的总质量 M 的 1%（称为筛分损失率），若大于 1% 应重做。

即
$$\delta = \frac{M - \sum m_i}{M} \times 100\% \leq 1\%$$

式中 δ ——筛分损失率；

M ——试验前土的总质量（500 g 左右）；

$\sum m_i$ ——留在各筛及底盘的土质量总和，g。

7. 将试验的各项数据填入试验报告中。

五、计算及绘图

1. 按下式计算小于某粒径的土质量占总质量的百分数：

$$x = \frac{m_A}{M} \times 100\%$$

式中 x ——小于某粒径土质量占总质量的百分数，%；

m_A ——小于某粒径土质量，g；

M ——试样总质量，g。

2. 以小于某粒径的土质量占总质量的百分数 x 为纵坐标，粒径（mm）为横坐标，在单对数坐标纸上绘制颗粒级配曲线。

3. 计算土的不均匀系数 C_u 及曲率系数 C_c 。

在作出的级配曲线是比较规则（很平滑）的情况下：

$$\text{不均匀系数 } C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$\text{曲率系数 } C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$$

式中 d_{10} —— x 为 10% 时对应的土的粒径，mm；

d_{30} —— x 为 30% 时对应的土的粒径，mm；

d_{60} —— x 为 60% 时对应的土的粒径，mm。

4. 根据 C_u 、 C_c 判定土颗粒级配情况：

(1) 如果 $C_u \geq 5$ ， $C_c = 1 \sim 3$ ，则土颗粒不均匀，级配良好。

(2) 如果未满足上面两个条件，则土颗粒均匀，级配不好。

5. 根据计算出的有关数据，对土样进行分类、定名。

试验二 密度试验（环刀法）

土的单位体积的质量称为密度，通常以 g/cm^3 或 kg/m^3 计。

一、试验目的

测定土的密度，为计算其他物理性质指标提供数据。

二、试验方法

对于一般黏性土，采用环刀法；如果土样易碎裂，难以切削，用蜡封法；在现场，对于粗颗粒土，可以采用灌水法或灌砂法。

本试验采用环刀法。

三、仪器设备

1. 环刀：内径为 6.4 cm，高 2 cm，体积 64 cm³。
2. 天平：称量 200 g，感量 0.01 g。
3. 其他用具：切土刀，凡士林（或湿毛巾）。

四、操作步骤

1. 将环刀内外壁擦净，称取其质量 m_1 。
2. 将环刀内外壁抹一薄层凡士林（或用湿毛巾擦过）。
3. 将制备好的土样放在操作台上，准备用环刀切土。
4. 将环刀（注意刃口向下）置于土样上面，然后用手将环刀垂直下压（不允许环刀倾斜）直到土样冒出环刀约 2 mm 为止，再将环刀两端及外侧的土削去、削平。
5. 擦净环刀外壁，称出环刀加湿土的质量 m_2 。

五、计算

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

式中 ρ ——湿土密度，g/cm³；

m ——湿土质量，g；

V ——环刀体积，cm³；

m_2 ——环刀加湿土质量，g；

m_1 ——环刀质量，g。

六、注意事项

1. 密度 ρ 的计算结果精确到 0.01 g/cm³。

2. 用切土刀削土时, 应少许地削, 每次只削一薄层, 并只能单向削, 不允许用刀反复地抹土样。

3. 本试验应进行两次平行试验, 若平行试验的差值小于或等于 0.03 g/cm^3 , 则取两次试验结果的平均值为该土样的密度。

试验三 颗粒密度试验 (量瓶法)

土的颗粒密度是指固体颗粒质量与颗粒体积的比值, 单位为 g/cm^3 。

一、试验目的

测定土颗粒密度, 以供计算土的孔隙比、孔隙率、饱和度和颗粒分析、压缩试验等指标用。

二、试验方法

1. 粒径小于 5 mm 的土用量瓶法测定。

2. 粒径大于 5 mm 的土, 其中大于 20 mm 的颗粒含量少于 10% 时用浮称法; 大于 10% 时用虹吸筒法。

3. 若土含有小于和大于 5 mm 的颗粒, 则分别应用量瓶法和浮称法或虹吸筒法测定粗、细颗粒的颗粒密度, 取其加权平均值作为该土的平均颗粒密度, 并按下式计算平均颗粒密度:

$$\rho_{\text{sm}} = \frac{1}{\frac{P_1}{\rho_{s1}} + \frac{P_2}{\rho_{s2}}}$$

式中 ρ_{sm} ——平均颗粒密度, g/cm^3 ;

ρ_{s1} ——大于 5 mm 土粒的颗粒密度, g/cm^3 ;

ρ_{s2} ——小于 5 mm 土粒的颗粒密度, g/cm^3 ;

P_1 ——大于 5 mm 粒径土粒质量占总质量的百分比, %;

P_2 ——小于 5 mm 粒径土粒质量占总质量的百分比, %。

计算结果精确至 0.01 。

本试验采用量瓶法。

三、仪器设备

1. 量瓶：容积 100 mL 或 50 mL。
2. 天平。
3. 恒温水浴。
4. 可调温电炉。
5. 温度计。
6. 其他：烘箱、纯水、孔径为 5mm 筛、漏斗、毛刷等。

四、试验步骤

1. 称取烘干试样 m_d ，若量瓶为 100 mL，称 15 g 左右；若量瓶为 50 mL，称 10 g 左右。
2. 装土样并煮沸。借助漏斗将土样装入量瓶中；为排出试样内的空气，应将装有干土的量瓶注入纯水至半满，并摇动量瓶，使土粒分散；然后将量瓶放在可调电炉上煮沸。煮沸时间从土液沸腾时算起：砂及黏砂土不少于 30 min，黏土及砂黏土不少于 1 h。由于时间紧，学生做试验时只煮 10 min（从沸腾时计算）。
3. 煮沸完毕，取下量瓶，冷却至接近室温（可用冷水冲外壁，加速冷却），将纯水注入量瓶至近满，待土液上部澄清时，塞好瓶塞，使多余的水从量瓶塞毛细管中溢出。
4. 将量瓶放入恒温水浴中恒温至土液温度与水浴温度一致（约 15 min），取出后擦干外壁，称瓶 + 水 + 土质量 m_{pws} ，然后立刻测定瓶内土液的温度 $T^{\circ}\text{C}$ 。
5. 将量瓶内土液倒掉，洗净，注入纯水至近满，塞好瓶塞，使多余水分从瓶塞毛细管中冒出，然后将量瓶放入恒温水中恒温至瓶内水液温度与水浴温度一致（约 15 min），取出后擦干，称瓶 + 水质量 m_{pw} 。

五、计算

$$\rho_s = \frac{m_d}{m_d + m_{pw} - m_{pws}} \cdot \rho_{wT}$$

式中 ρ_s ——土粒密度， g/cm^3 ；

m_d ——干土质量，g；

m_{pw} ——瓶 + 水质量，g；

m_{pws} ——瓶 + 水 + 土质量，g；

ρ_{wT} —— $T^{\circ}\text{C}$ 时纯水的密度。

计算结果精确到 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

六、注意事项

1. 本试验应进行两次平行试验，若平行差值不大于 0.02 g/cm^3 ，则取平均值作为该土样的颗粒密度。
2. 土液煮沸后应将电炉温度调低，以免土粒溅出瓶外。
3. 土液煮好后，应用毛巾包着量瓶取下，不能直接用手去取，以免烫手或者损坏量瓶。

试验四 含水率试验

土的含水率指湿土在 $105 \sim 110 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下烘至质量不变时所失去的水分质量与干土质量的比值，以百分数表示。

一、试验目的

测定土的含水率，用以计算孔隙率、孔隙比、干密度和饱和度等指标。

二、试验方法

标准的试验方法是烘干法，适用于各种土；在施工现场为快速测定含水率，可用酒精燃烧法（不含有机质），对于含砾较多的土可采用炒干法；但黏性土和含有机质土应以烘干法为准。

本试验只进行烘干法试验。

三、仪器设备

1. 电烘箱：能保持温度在 $105 \sim 110 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
2. 天平：称量 200 g ，感量 0.01 g 。
3. 其他：称量铝盒、干燥器。

四、试验步骤

1. 准备一个铝盒，记下号码，称其质量 m_1 。
2. 取代表性试样不少于 15 g（砂土或不均匀土应多取），放入铝盒中，盖上盖子，将盒外附着的土擦净，称铝盒 + 湿土质量 m_2 。
3. 打开盒盖，将铝盒放入电烘箱中，使试样在 105 ~ 110 °C 恒温下烘至质量不变（根据经验，砂土约烘 2 h，黏土与粉质土约烘 8 h），对有机质含量超过干土质量 5% 的土，应将温度控制在 65 ~ 70 °C 的温度下烘至恒量。
4. 取出铝盒，盖好盒盖后置于干燥器内，冷却至室温，立即称铝盒、干土质量 m_3 。

五、计算

$$\omega = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100\%$$

式中 ω ——含水率，%，精确到 0.1%；
 m_1 ——铝盒质量，g；
 m_2 ——铝盒 + 湿土质量，g；
 m_3 ——铝盒 + 干土质量，g。

六、注意事项

本试验应进行两次平行测定，若平行差在允许范围内，取平均值作为该土样含水率。含水率允许平行差距如表 4.1 所示。

表 4.1 允许平行差距

含水率 (%)	小于 5	5 ~ 20	20 ~ 40	大于 40
允许平行差值 (%)	0.5	1.0	1.5	2.0

试验五 虹吸筒法测颗粒密度

一、试验仪器

1. 虹吸筒。
2. 台称：称量 10 kg，感量 1 g。

3. 量筒：容积大于 200 mL。
4. 其他：烘箱、温度计、孔径 5 mm 及 20 mm 筛、毛巾、磁盘等。

二、试验步骤

1. 取粒径大于 5 mm 的代表性试样约 2 500 g，用清水洗净后，将试样浸泡在 15 ~ 25 °C 的水中，浸泡 24 h 后取出，将试样放在湿润毛巾上擦干成饱和面干状态，称饱和面干试样质量(m_b)。
2. 注清水入虹吸筒至管口有水溢出为止，待管中水流停止后，关闭虹吸管。将已称量的饱和面干试样缓缓放入虹吸筒中，同时搅拌，直至无气泡溢出为止。注意水不能溅出筒外。
3. 水面平静后，开启虹吸管，让试样排开的水从虹吸管中流入量筒内。
4. 称量筒 + 水的质量 m_{cw} ，测量筒内水的温度，准确至 0.5 °C。
5. 取出虹吸筒内的全部试样放入磁盘中，置于 105 ~ 110 °C 烘箱中烘 4 ~ 6 h，取出冷却至室温，称烘干试样质量 (m_d)。
6. 称干燥量筒的质量 m_c 。

三、计 算

$$1. \text{ 颗粒密度 } \rho_s = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c) - (m_b - m_d)} \cdot \rho_{wT}$$

$$2. \text{ 饱和面干密度 } \rho_b = \frac{m_b}{(m_{cw} - m_c)} \cdot \rho_{wT}$$

$$3. \text{ 毛体积密度 } \rho_a = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c)} \cdot \rho_{wT}$$

$$4. \text{ 吸着含水率 } \omega_x = \left(\frac{m_b}{m_d} - 1 \right) \times 100\%$$

试验六 浮称法测颗粒密度

一、试验仪器

1. 浮称天平（静水力学天平）：称量 5 000 g，感量 0.1 g。

2. 其他：烘箱、温度计、孔径 5 mm 及 20 mm 筛、毛巾、磁盘等。

二、试验步骤

1. 取粒径大于 5 mm 的代表性试样约 1 000 g，用清水洗净后，将试样浸泡在 15 ~ 25 °C 的水中，浸泡 24 h 后取出，将试样放在毛巾上擦干饱和面干状态，称得饱和面干试样质量(m_b)。

2. 将金属筐浸入水中，称金属筐在水中的质量 (m_1)。

3. 将已知质量的饱和面干试样全部放入金属筐中，缓缓浸入水中，并在水中摇晃至无气泡逸出为止，称金属筐和试样在水中的总质量(m_2)，并测盛水容器内水温，准确至 0.5 °C。

4. 取出金属筐中全部试样放于磁盘中，置于 105 ~ 110 °C 烘箱中烘 4 ~ 6 h，取出冷却至室温，称烘干试样质量 (m_d)。

三、计 算

1. 颗粒密度 $\rho_a = \frac{m_d}{m_d - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT}$

2. 饱和面干密度 $\rho_b = \frac{m_b}{m_b - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT}$

3. 毛体积密度 $\rho_a = \frac{m_d}{m_b - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT}$

4. 吸着含水率 $\omega_x = \left(\frac{m_b}{m_d} - 1 \right) \times 100\%$

试验七 液限试验

液限是黏性土由可塑状态转变为流塑状态的界限含水率，即黏性土呈可塑状态的上限含水率。

一、试验目的

为计算塑性指数、液性指数提供数据，为路堤填土选料提供依据。

二、试验方法

圆锥仪法。

三、仪器设备

1. 圆锥仪：重 76 g，锥体部分锥角 30°，距锥尖 10 mm 处有环形刻度线。
2. 天平：称量 200 g，感量 0.01 g。
3. 其他：烘箱、干燥器、秒表、铝盒、调土刀、调土皿、孔径 0.5 mm 筛、蒸馏水、凡士林。

四、试验步骤

1. 试样制备：取有代表性的天然含水率土样或风干土样进行制备，若在天然含水率土样中含有大于 0.5 mm 颗粒及夹杂物时应风干，研磨并过 0.5 mm 筛，弃去大于 0.5 mm 部分；将试样放入调土皿中，加水调成均匀浓糊状，放入保湿器内静置一昼夜。

2. 将制备好的试样用调土刀在调土皿中调匀，分层装入塑料试杯或金属试杯内，填装试样时勿使试样内留有空隙或气泡，用刮土刀将多余土刮去使与试杯齐平。

3. 将圆锥仪调平衡，擦净，在锥体上抹一薄层凡士林（或用湿布擦拭），提住锥体上端手柄，放于试样表面中部，至锥尖与试样表面接触时，松开手指，使锥体在其自重作用下下沉入土中，并开始用秒表计时。

4. 当锥体经 15 s 沉入土中深度恰为 10 mm 时土的含水率即为液限。若锥体入土深度大于或小于 10 mm，表示试样的含水率高于或低于液限，这时挖去粘有凡士林的土，取出试样放回调土皿中，使多余的水分蒸发或加水重新调拌均匀，再按本试验步骤 2、3 进行试验，至锥体入土深度恰为 10 mm 为止。

5. 将所测得的合格试样去掉粘有凡士林部分，取不少于 10g 的试样装入称量盒内，用烘干法测定其含水率，此含水率即为液限。

五、计算

$$\omega_L = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100\%$$