

成都理工大学实验教学系列教材

# 土工试验基础教程

主编 付小敏 张品翠

TUGONG SHIYAN JICHU JIAOCHENG



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

成都理工大学实验教学系列教材

# 土工试验基础教程

主 编 付小敏 张品翠  
副主编 苏道刚 虞修竞  
蔡国军 郑海君  
主 审 张莲花

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---

图书在版编目 (CIP) 数据

土工试验基础教程 / 付小敏, 张品翠主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.9

(成都理工大学实验教学系列教材)

ISBN 978-7-5643-0070-8

I. 土… II. ①付… ②张… III. 土工试验—高等学校—教材  
IV. TU41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 136939 号

---

成都理工大学实验教学系列教材

土工试验基础教程

主编 付小敏 张品翠

|       |                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------|
| 责任编辑  | 李 涛                                                               |
| 特邀编辑  | 唐 飞                                                               |
| 封面设计  | 本格设计                                                              |
| 出版发行  | 西南交通大学出版社<br>(成都二环路北一段 111 号)                                     |
| 发行部电话 | 028-87600564 87600533                                             |
| 邮 编   | 610031                                                            |
| 网 址   | <a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a> |
| 印 刷   | 成都蜀通印务有限责任公司                                                      |
| 成品尺寸  | 185 mm × 260 mm                                                   |
| 印 张   | 5.625                                                             |
| 字 数   | 139 千字                                                            |
| 印 数   | 1—3 000 册                                                         |
| 版 次   | 2008 年 9 月第 1 版                                                   |
| 印 次   | 2008 年 9 月第 1 次印刷                                                 |
| 书 号   | ISBN 978-7-5643-0070-8                                            |
| 定 价   | 10.80 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

本书是根据成都理工大学土木工程、勘察技术与工程和环境工程各专业对本科生的培养计划以及新编教学大纲对土工试验的基本要求,在环境与土木工程学院为上述专业历届本科生编写的“土工试验指导书”的基础上,结合20多年来的试验教学经验进行修改、补充编写而成的。

本书力图结合本实验室的仪器设备和多年的试验教学经验,在试验操作方法的叙述上简明扼要、易于理解、便于掌握;力图将试验成果与实际工程运用联系起来,以便学生生活学会用。同时每节列出了思考题,学生可以带着问题学习,加深对课程内容的理解,增强试验教学效果。为了培养学生综合试验技能,书中分别对6项试验的多种测试方法进行了详细介绍,学生可以按照教程内容选择同类试验的多种试验方法进行训练。

本书包括6章内容。第1章叙述了土样和试样制备的方法及操作过程,是土工试验的基础部分。第2、第3章分别介绍了测试土体一般特性指标的物理性质试验和密实度试验,包括含水率、密度、土粒比重、颗粒分析、渗透以及击实等8项试验以及12种测试方法。第4、第5章分别阐述了测试土体力学特性的变形和强度指标的试验,包含固结、自由膨胀率、直接剪切、三轴压缩以及无侧限抗压强度等6项试验以及10种测试方法。第6章扼要阐述了编写成果报告的主要内容和基本要求。本书中涉及的每项试验方法均严格执行国家标准(GB/T 50123—1999)。对每项试验从样品的采集和制备、所需试验仪器设备、试验操作步骤、试验结果的记录与资料整理均作了详细的介绍。

本书第1、第6章由付小敏编写,第2至第5章由付小敏在张品萃编写的“土工试验指导书”的基础上修编而成。全书最终由付小敏统稿,张莲花审定。在编写过程中,苏道刚、虞修竟、蔡国军、郑海君4位老师做了大量的辅助工作,并得到了成都理工大学教务处、环境与土木工程学院等有关部门领导和老师的大力支持,同时参阅了国内外学者的大量著作和文献,并选用了其中的许多资料和图表,在此一并表示衷心的感谢。

本书可供“土工试验”、“土力学基础试验”和“土力学综合试验”三门单独设课的试验教学课程使用。同时,可供本专业研究生和其他科研教学单位的专业技术人员参考使用。由于编者水平所限,在内容上可能存在某些错误或不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年5月

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 土样和试样制备 .....      | 1  |
| 1.1 试样制备 .....           | 1  |
| 1.2 试样饱和 .....           | 3  |
| 第 2 章 土的物理性质试验 .....     | 5  |
| 2.1 土的含水率试验 .....        | 5  |
| 2.2 密度试验 .....           | 7  |
| 2.3 土粒比重试验 .....         | 9  |
| 2.4 土的界限含水率试验 .....      | 12 |
| 2.5 颗粒分析试验 .....         | 14 |
| 2.6 渗透试验 .....           | 24 |
| 第 3 章 土的密实度试验 .....      | 31 |
| 3.1 击实试验 .....           | 31 |
| 3.2 砂的相对密度试验 .....       | 35 |
| 第 4 章 土的变形试验 .....       | 40 |
| 4.1 土的标准固结试验 .....       | 40 |
| 4.2 自由膨胀率试验 .....        | 47 |
| 4.3 膨胀力试验 .....          | 48 |
| 第 5 章 土的强度试验 .....       | 51 |
| 5.1 直接剪切试验 .....         | 51 |
| 5.2 三轴压缩试验 .....         | 56 |
| 5.3 无侧限抗压强度试验 .....      | 74 |
| 第 6 章 试验数据的整理与成果报告 ..... | 78 |
| 6.1 统计分析的原则 .....        | 78 |
| 6.2 数据舍弃标准 .....         | 78 |
| 6.3 土性指标的统计分析和取值 .....   | 79 |
| 6.4 试验报告的编写 .....        | 82 |
| 参考文献 .....               | 84 |

# 第1章 土样和试样制备

土样和试样的制备是土工试验工作的第一个质量要素。在试验过程中起着非常重要的作用。为了保证试验成果的可靠性和试验数据的可比性,必须统一土样和试样的制备方法和程序。

根据土样的结构状态可分为扰动土和原状土。两种土样的制备方法各不相同。扰动土的土样制备包括:风干、碾散、过筛、均匀后储存等土样预备程序和击实、饱和等试样制备程序;原状土的土样制备包括:开启、切取等。这些步骤的正确与否,都会直接影响试验成果。本章重点介绍扰动土样和原状土样的制备程序。

## 1.1 试样制备

### 1.1.1 试样制备所需仪器设备

1. 天平:称量 1 000 g, 最小分度值 1.0 g; 称量 100~200 g, 最小分度值 0.1 g; 称量 < 200 g, 最小分度值 0.01 g。
2. 台秤:称量 10~15 kg, 最小分度值 10 g。
3. 细筛:孔径 0.5 mm、2.0 mm、5.0 mm。
4. 洗筛:孔径 0.007 5 mm~0.1 mm。
5. 碎土器:磨土机。
6. 抽气机(包括真空测压表及真空缸)。
7. 击实器(带环刀)。
8. 饱和器(附真空缸)。
9. 其他:干燥皿、保湿器、橡皮板、研钵、木碾、木锤、切土刀、分样器、钢丝锯等。

### 1.1.2 扰动土试样制备

扰动土试样根据不同的试验要求,在试验前需进行土样描述、风干、碾散、过筛、搅拌、分样(应采用分样器或四分法),并按照土的性质及工程设计要求,选用不同的饱和方法制备所需试样。制备步骤如下:

1. 将土样从土样筒或包装袋中取出,对土样的颜色、气味、夹杂物和土类及均匀程度进行描述,并将土样切成碎块,拌和均匀,取代表性土样测定含水率。

2. 将风干的土样放在橡皮板上用木碾碾散,对不含砂和砾的土样,可用碎土器碾散(碎土器不得将土粒破碎)。

3. 将碾散的风干土样通过孔径 2 mm 或 5 mm 的筛,取筛下足够试验用的土样,充分拌

匀,测定风干含水率,装入保湿缸或塑料袋内备用。

4. 试样的数量视试验项目而定,一般每组试样不得少于4个,应有备用试样1~2个。
5. 根据试验所需的土量与含水率,计算制备试样所需的加水量:

$$m_w = \frac{m_0}{1+0.01w_0} \times 0.01(w_1 - w_0) \quad (1.1)$$

式中  $m_w$  —— 制备试样所需要的加水量 (g);

$m_0$  —— 湿土 (或风干土) 质量 (g);

$w_0$  —— 湿土 (或风干土) 含水率 (%);

$w_1$  —— 制样要求的含水率 (%).

6. 称取过筛的风干土样平铺于搪瓷盘内,将水均匀喷洒于土样上,充分拌匀后装入盛土容器内盖紧,润湿一昼夜,砂土的润湿时间可酌减。

7. 测定润湿土样不同位置处的含水率。不应少于两点,一组试样的含水率之差不得大于 $\pm 1\%$ ,一组试样之间的密度差值不宜大于 $0.03 \text{ g/cm}^3$ 。

8. 根据环刀容积及所需的干密度,计算制样所需的湿土量:

$$m_0 = (1 + 0.01w_0) \rho_d V \quad (1.2)$$

式中  $m_0$  —— 湿土 (或风干土) 质量 (g);

$\rho_d$  —— 试样的干密度 ( $\text{g/cm}^3$ );

$V$  —— 试样体积 (环刀容积) ( $\text{cm}^3$ ).

9. 扰动土制样可采用击样法和压样法。

(1) 击样法:

将湿化后制备好的土样分三层倒入装有环刀的击实器内,用击实方法将土击入环刀内,取出环刀擦净后称量环刀和土的总质量。

(2) 压样法:

在装环刀的压样器内倒入湿土后拂平表面,用静压方式将土压入环刀,取出环刀刮平土面后称量环刀及土的总质量。

10. 对不需要饱和,且立即进行试验的试样,应存放在保湿器内备用。

### 1.1.3 原状土试样制备

1. 将土样筒按标明的上下方向放置,辨别土样上下和层次,无特殊要求,切土方向与天然层次垂直。剥去蜡封和胶带,开启土样筒取出土样。检查土样结构,当确定土样已受扰动或取土质量不符合规定时,不应制备变形和力学性质试验用试样。

2. 用环刀切取试样时,应在环刀内壁涂一薄层凡士林,刃口向下放在土样上,将环刀垂直下压,并用切土刀沿环刀外侧切削土样,边压边削至土样高出环刀,根据试样的软硬采用钢丝锯或切土刀整平环刀两端土样,擦净环刀外壁,称量环刀和土的总质量。从余土中取代表性试样测定含水率。

3. 切削试样时,应对土样的层次、气味、颜色、夹杂物、裂缝和均匀性进行描述。对低塑性和高灵敏度的软土,制样时不得扰动。

## 1.2 试样饱和

试样的饱和实际上是土的孔隙逐渐被水填充的过程, 被水充满孔隙的土称为饱和土。试样饱和时按照土的工程性质选择不同的饱和方法。室内常用有浸水饱和法、毛细管饱和法和真空抽气饱和法三种。

砂土可直接采用浸水饱和法。细粒土渗透系数大于  $10^{-4}$  cm/s 的, 可采用毛细管饱和法; 渗透系数等于或小于  $10^{-4}$  cm/s 时, 可采用抽气饱和法。

### 1.2.1 毛细管饱和法

1. 选用框式饱和器, 如图 1.1 所示。在装有试样的环刀上下两面贴放滤纸和透水石。
2. 将装好的饱和器放入水箱中, 箱中注入清水。为使土中气体排出, 水面不宜将试样淹没, 关闭箱盖, 浸水时间不得少于 48 h。

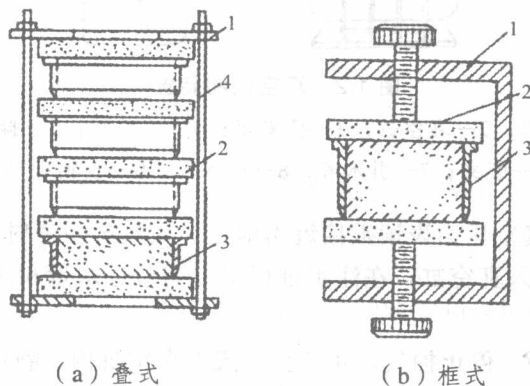


图 1.1 饱和器

1—夹板; 2—透水板; 3—环刀; 4—拉杆

3. 取下饱和器上的环刀, 擦净后称量环刀和饱和土的总质量。
  4. 如饱和度小于 95% 时, 需将试样按 1、2 步骤继续浸水进行饱和。
- 试样的饱和度按式 (1.3) 或式 (1.4) 计算:

$$S_r = \frac{(\rho_{sr} - \rho_d)G_s}{\rho_d \times e} \quad (1.3)$$

或

$$S_r = \frac{w_{sr} G_s}{e} \quad (1.4)$$

式中  $S_r$  —— 试样的饱和度 (%);  
 $w_{sr}$  —— 试样饱和后的含水率 (%);  
 $\rho_{sr}$  —— 试样饱和后的密度 ( $\text{g/cm}^3$ );  
 $G_s$  —— 土粒比重;



$e$  —— 试样的孔隙比;

$\rho_d$  —— 土的干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

### 1.2.2 抽气饱和法

1. 将装有试样的饱和器放入真空缸内, 如图 1.2 所示, 真空缸和盖之间涂一薄层凡士林, 盖紧, 以防漏气。将真空缸与抽气机接通。

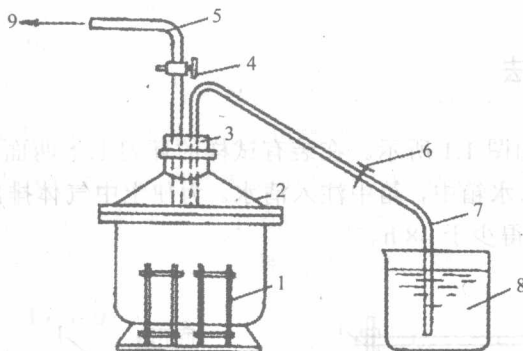


图 1.2 真空饱和装置

1—饱和器; 2—真空缸; 3—橡皮塞; 4—二通阀; 5—排气管;

6—管夹; 7—引水管; 8—盛水器; 9—接抽气机

2. 启动抽气机, 当真空压力表读数接近当地一个大气压力值时 (抽气时间不少于 1 h), 微开管夹, 使清水徐徐注入真空缸, 在注水过程中, 调节进水量和注水速度, 使真空压力表读数基本保持稳定。

3. 待水淹没饱和器后, 停止抽气, 并使空气流入真空缸内, 静止一段时间, 黏性土一般宜为 10 h。

4. 打开真空缸盖, 从饱和器内取出试样擦干环刀上水迹, 称量试样及环刀质量, 并按式 (1.3) 或式 (1.4) 计算饱和度。当饱和度小于 95% 时, 需继续抽气饱和。

## 第2章 土的物理性质试验

任何工程材料的力学特性都同它本身的物理性质有关,土也不列外。但土有别于一般的致密和均匀材料。土是自然生成的,主要由固体颗粒、水和空气三个基本部分组成,其组成之间的联系是很复杂的,还会因外界条件的改变而发生变化。土在受力后是否会发生破坏或很大变形,主要取决于它的物质成分、相互关系和相互作用,一般与它的固体颗粒本身的强度和变形关系不大。因此,土的物理性质是影响土的力学特性的本质因素。土的物理性质试验是土工试验的基础部分,包括含水率、密度、土粒比重、界限含水率、颗粒分析、渗透等试验。试验成果可用于土的工程分类、土的状态判定、渗透计算、填土工程施工方法的选择和质量控制以及路面设计等。

### 2.1 土的含水率试验

土的含水率是指土在温度为  $105\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$  下烘干到恒量时所失去的水质量与恒量后干土质量的比值,以百分数表示。含水率是土的基本物理性质指标之一,它反映了土的干、湿状态。含水率的变化将使土的物理力学性质发生一系列的变化。土中水分的含量是影响土的状态和工程地质性质的重要因素之一。土的含水率是土的三相物质中最活跃、最不确定的一个因素。含水率的变化影响到整个土样的稠度状态、饱和状态和结构强度等一系列物理力学性质。因此,含水率是研究土的物理力学性质必不可少的一项指标。测定土的含水率是为了了解土的含水状态。土的含水率是计算土的干密度、孔隙比、饱和度、液性指数等指标的基本参数,也是建筑物地基、路堤、土坝等施工质量控制的重要指标。

含水率试验方法有烘干法、酒精燃烧法、比重法、碳化钙气压法、炒干法等,其中以烘干法为室内试验的标准方法。通过本节学习,要求学生熟练掌握用烘干法测定土的含水率的试验方法。

烘干法是将试样放在温度能保持  $105\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$  的烘箱中烘至恒量的方法。

本试验方法适用于粗粒土、细粒土、有机质土和冻土。

#### 2.1.1 试验仪器设备

1. 电热烘箱:应能控制温度为  $105\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
2. 天平:称量  $200\text{ g}$ ,最小分度值  $0.01\text{ g}$ ;称量  $1\text{ }000\text{ g}$ ,最小分度值  $0.1\text{ g}$ 。

#### 2.1.2 操作步骤

1. 取具有代表性试样  $15\sim 30\text{ g}$  或用环刀中的试样,有机质土、砂类土和整体状构造冻

土为 50 g, 放入称量盒内, 盖上盒盖, 称盒加湿土质量, 准确至 0.01 g。

2. 打开盒盖, 将盒置于烘箱内, 在 105~110 °C 的恒温下烘至恒量。烘干时间对黏土、粉土不得少于 8 h; 对砂土不得少于 6 h; 对含有有机质超过干土质量 5% 的土, 应将温度控制在 65~70 °C 的恒温下烘至恒量。

3. 将称量盒从烘箱中取出, 盖上盒盖, 放入干燥容器内冷却至室温, 称盒加干土质量, 准确至 0.01 g。

### 2.1.3 成果要求

1. 试样的含水率, 按式 (2.1) 计算, 准确至 0.1%。

$$w_0 = \left( \frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (2.1)$$

式中  $w_0$  —— 试样的含水率 (%) ;

$m_0$  —— 湿土质量 (g) ;

$m_d$  —— 干土质量 (g) 。

2. 本试验必须对两个试样进行平行测定, 测定的差值: 当含水率小于 40% 时为 1%; 当含水率大于等于 40% 时为 2%, 对层状和网状构造的冻土不大于 3%。取两个测值的平均值, 以百分数表示。

3. 含水率试验的记录格式见表 2.1。

表 2.1 含水率试验记录

工程名称 \_\_\_\_\_

试验者 \_\_\_\_\_

工程编号 \_\_\_\_\_

计算者 \_\_\_\_\_

试验日期 \_\_\_\_\_

校核者 \_\_\_\_\_

| 试样<br>编号 | 盒号 | 盒质量/g | 盒加湿<br>土质量/g | 盒加干<br>土质量/g | 湿土<br>质量/g | 干土<br>质量/g | 含水率/% | 平均含<br>水率/% |
|----------|----|-------|--------------|--------------|------------|------------|-------|-------------|
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |
|          |    |       |              |              |            |            |       |             |



### 2.1.4 思考题

1. 为什么说土的含水率是土中最不确定的一个因素?
2. 对含有机质土,为什么必须在 65~70 °C 温度下烘干?
3. 测定土的含水率,为什么要进行平行试验?

## 2.2 密度试验

土的密度是指土的单位体积质量,是土的基本物理性质指标之一。土的密度反映了土体结构的松紧程度,是计算土的自重应力、干密度、孔隙比、孔隙度等指标的重要依据,也是挡土墙土压力计算、土坡稳定性验算、地基承载力和沉降量估算以及路基路面施工填土压实度控制的重要指标之一。

密度试验方法有环刀法、蜡封法、灌水法和灌砂法等。

通过本节学习,学生可了解四种测试土的密度的试验方法,以及它们的适用范围。要求学生熟练掌握用环刀法测定密度的原理和操作流程。下面分别介绍这四种试验方法。

### 2.2.1 环刀法

环刀法就是采用一定体积环刀切取土样并称土质量的方法,环刀内土的质量与环刀体积之比即为土的密度。

本试验方法适用于测定不含砾石颗粒的细粒土的密度。本方法在测定试样密度的同时,可将试样用于固结和直剪试验。

#### 2.2.1.1 试验仪器设备

1. 环刀: 内径 61.8 mm 和 79.8 mm, 高度 20 mm。
2. 天平: 称量 500 g, 最小分度值 0.1 g; 称量 200 g, 最小分度值 0.01 g。

#### 2.2.1.2 操作步骤

操作步骤见 1.1.3 节原状土的试验制备。

#### 2.2.1.3 成果要求

1. 试样的湿密度,按式(2.2)计算:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (2.2)$$

式中  $\rho_0$  —— 试样的湿密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 准确到  $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

$m_0$  —— 湿土质量 (g);

$V$  —— 试样体积 ( $\text{cm}^3$ )。

2. 试样的干密度,按式(2.3)计算:

$$\rho_d = \frac{\rho_0}{1 + 0.01w_0} \quad (2.3)$$

式中  $\rho_d$  —— 试样的干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_0$  —— 试样的湿密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$w_0$  —— 试样的含水率 (%)。

3. 本试验应进行两次平行测定, 两次测定的差值不得大于  $0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 取两次测值的平均值。

4. 环刀法试验的记录格式见表 2.2。

表 2.2 密度试验记录 (环刀法)

工程名称 \_\_\_\_\_

试验者 \_\_\_\_\_

工程编号 \_\_\_\_\_

计算者 \_\_\_\_\_

试验日期 \_\_\_\_\_

校核者 \_\_\_\_\_

| 试样<br>编号 | 环刀号 | 环刀质量<br>/g | 环刀与湿<br>土质量/g | 湿土质量<br>/g | 试样体积<br>/cm <sup>3</sup> | 湿密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 平均湿密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 平均干密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|-----|------------|---------------|------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|          |     |            |               |            |                          |                              |                                |                                |
|          |     |            |               |            |                          |                              |                                |                                |
|          |     |            |               |            |                          |                              |                                |                                |
|          |     |            |               |            |                          |                              |                                |                                |
|          |     |            |               |            |                          |                              |                                |                                |
|          |     |            |               |            |                          |                              |                                |                                |
|          |     |            |               |            |                          |                              |                                |                                |

## 2.2.2 蜡封法

蜡封法密度试验方法, 其试验是依据阿基米德原理, 即物体在水中失去的质量等于排开同体积水的质量, 来测出土的体积。为考虑土体浸水后崩解、吸水等问题, 在土体外涂一层腊。蜡封法适用于黏性土, 对于易破裂的土或形状不规则的坚硬土更为适合。

### 2.2.2.1 试验仪器设备

1. 蜡封设备: 可调节温度的熔蜡加热器。

2. 天平: 称量 500 g, 最小分度值 0.1 g; 称量 200 g, 最小分度值 0.01 g。

### 2.2.2.2 操作步骤

1. 从原状土样中, 切取体积不小于  $30 \text{ cm}^3$  的代表性试样, 清除表面浮土及尖锐棱角, 系上细线, 称试样质量, 准确至 0.01 g。

2. 持线将试样缓缓浸入刚过熔点的蜡液中, 浸没后立即提出, 检查试样周围的蜡膜, 当有气泡时应用针刺破, 再用蜡液补平, 冷却后称蜡封试样质量。

3. 将蜡封试样挂在天平的一端, 浸没于盛有纯水的烧杯中, 称蜡封试样在纯水中的质量,

并测定纯水的温度。

4. 取出试样, 擦干蜡面上的水分, 再称蜡封试样质量。当浸水后试样质量增加时, 应另取试样重做试验。

### 2.2.2.3 成果要求

1. 试样的湿密度, 按式 (2.4) 计算:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{\frac{m_n - m_{nw}}{\rho_{wT}} - \frac{m_n - m_0}{\rho_n}} \quad (2.4)$$

式中  $\rho_0$  —— 试样的湿密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m_0$  —— 湿土质量 (g);

$m_n$  —— 蜡封试样质量 (g);

$m_{nw}$  —— 蜡封试样在纯水水中的质量 (g);

$\rho_{wT}$  —— 纯水在  $T^\circ\text{C}$  时的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_n$  —— 蜡的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

2. 试样的干密度, 按式 (2.5) 计算:

$$\rho_d = \frac{\rho_0}{1 + 0.01w_0} \quad (2.5)$$

式中  $\rho_d$  —— 试样的干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_0$  —— 试样的湿密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$w_0$  —— 试样的含水率 (%)。

3. 本试验应进行两次平行测定, 两次测定的差值不得大于  $0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 取两次测值的平均值。

## 2.3 土粒比重试验

土中固体颗粒单位体积的质量与同体积  $4^\circ\text{C}$  时纯水质量之比, 称为土粒比重。

土的固体部分的质量, 是土在  $100\sim 105^\circ\text{C}$  下烘至恒值时的质量, 可用天平直接称得; 而固体部分的体积, 则是将其浸没于液体中, 利用浮力原理而求得的。

为了准确测定土粒比重, 必须排除土中空气。对一般土可用蒸馏水煮沸法进行测定。若土中含有可溶盐时, 因其被溶解会使土粒体积减小, 导致所测得的土粒比重值偏大, 若土中含有较多黏土矿物或有机质时, 可形成密度较大的结合水, 也会使所测得的土粒比重值偏大。因此, 在测定可溶盐、黏土矿物或有机质含量较高的土的土粒比重时, 应采用中性液体 (如煤油) 代替蒸馏水, 用抽气法代替煮沸法。

测定土粒比重时, 可根据粒径大小, 选择不同的试验方法。对于粒径小于  $5 \text{ mm}$  的土适合用比重瓶法, 大于等于  $5 \text{ mm}$  土颗粒组成的土, 应采用浮称法和虹吸管法测定比重。

通过试验, 学生应明确土粒比重的概念及影响因素, 熟练掌握比重瓶法测定土粒比重的方法。

### 2.3.1 比重瓶法

#### 2.3.1.1 试验仪器设备

1. 比重瓶: 容积 100 mL 或 50 mL, 分长颈和短颈两种。
2. 恒温水槽: 准确度应为  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。
3. 砂浴: 应能调节温度。
4. 天平: 称量 200 g, 最小分度值 0.001 g。
5. 温度计: 刻度为  $0\sim 50^\circ\text{C}$ , 最小分度值为  $0.5^\circ\text{C}$ 。

#### 2.3.1.2 操作步骤

1. 比重瓶的校准, 按下列步骤进行:

(1) 将比重瓶洗净、烘干, 置于干燥器内, 冷却后称量, 准确至 0.001 g。

(2) 将煮沸经冷却的纯水注入比重瓶。对长颈比重瓶注水至刻度处; 对短颈比重瓶应注满纯水, 塞紧瓶塞, 多余水自瓶塞毛细管中溢出, 将比重瓶放入恒温水槽直至瓶内水温稳定。取出比重瓶, 擦干外壁, 称瓶、水总质量, 准确至 0.001 g。测定恒温水槽内水温, 准确至  $0.5^\circ\text{C}$ 。

(3) 调节数个恒温水槽内的温度, 温度差宜为  $5^\circ\text{C}$ , 测定不同温度下的瓶、水总质量。每个温度时均应进行两次平行测定, 两次测定的差值不得大于 0.002 g, 取两次测值的平均值。绘制温度与瓶、水总质量的关系曲线, 见图 2.1。

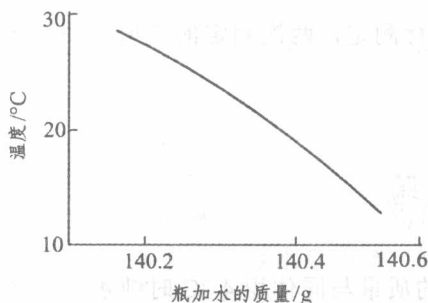


图 2.1 温度和瓶、水质量关系曲线

#### 2. 试样制备:

将土样从土样筒或包装袋中取出, 对土样的颜色、气味、夹杂物和土类及均匀程度进行描述, 并将土样切成碎块, 拌和均匀, 取代表性土样宜在  $105\sim 110^\circ\text{C}$  温度下烘干, 对有机质含量超过 5% 的土、含石膏和硫酸盐的土, 应在  $65\sim 70^\circ\text{C}$  温度下烘干。

#### 3. 试验步骤:

(1) 将比重瓶烘干。称烘干试样 15 g (当用 50 mL 的比重瓶时, 称烘干试样 10 g) 装入比重瓶, 称试样和瓶的总质量, 准确至 0.001 g。

(2) 向比重瓶内注入半瓶纯水, 摇动比重瓶, 并放在砂浴上煮沸, 煮沸时间自悬液沸腾起砂土不应少于 30 min, 黏土、粉土不得少于 1 h。沸腾后应调节砂浴温度, 比重瓶内悬液不得溢出。对砂土宜用真空抽气法; 对含有可溶盐、有机质和亲水性胶体的土必须用中性液体(煤油)代替纯水, 采用真空抽气法排气, 真空表读数宜接近当地一个大气负压值, 抽气时间不得少于 1 h。(中性液体不能用煮沸法)。

(3) 将煮沸经冷却的纯水(或抽气后的中性液体)注入装有试样悬液的比重瓶。当用长颈比重瓶时注纯水至刻度处; 当用短颈比重瓶时应将纯水注满, 塞紧瓶塞, 多余的水分自瓶塞毛细管中溢出。将比重瓶置于恒温水槽内至温度稳定, 且瓶内上部悬液澄清。取出比重瓶, 擦干瓶外壁, 称比重瓶、水、试样总质量, 准确至 0.001 g; 并应测定瓶内的水温, 准确至 0.5 °C。水的比重可查物理手册; 中性液体的比重应实测, 称量应准确至 0.001 g。

(4) 从温度与瓶、水总质量的关系曲线中查得各试验温度下的瓶、水总质量。

### 2.3.1.3 成果要求

1. 土粒比重, 按式 (2.6) 计算:

$$G_s = \frac{m_d}{m_{bw} + m_d - m_{bws}} \times G_{ir} \quad (2.6)$$

式中  $G_s$  —— 土粒比重;

$m_d$  —— 干土质量 (g);

$m_{bw}$  —— 比重瓶、水总质量 (g);

$m_{bws}$  —— 比重瓶、水、试样总质量 (g);

$G_{ir}$  ——  $T$  °C 时纯水或中性液体的比重。

3. 本试验必须进行两次平行测定, 两次测定的差值不得大于 0.02, 取两次测值的平均值。

4. 比重瓶法试验的记录格式见表 2.3。

表 2.3 比重试验记录 (比重瓶法)

工程名称 \_\_\_\_\_

试验者 \_\_\_\_\_

工程编号 \_\_\_\_\_

计算者 \_\_\_\_\_

试验日期 \_\_\_\_\_

校核者 \_\_\_\_\_

| 试样<br>编号 | 比<br>重<br>瓶<br>号 | 温<br>度<br>/°C | 液体<br>比重<br>查表 | 比重<br>瓶质<br>量/g | 瓶加干<br>土质量<br>/g | 干土<br>质量/g         | 瓶加液<br>体质量<br>/g | 瓶加液体<br>加干土总<br>质量/g | 与干土同<br>体积的液<br>体质量/g    | 土粒比重                               | 平均<br>值 |
|----------|------------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------------|---------|
|          |                  |               | (1)            | (2)             | (3)              | (4) =<br>(3) - (2) | (5)              | (6)                  | (7) = (4) +<br>(5) - (6) | (8) = $\frac{(4)}{(7)} \times (1)$ | (9)     |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |
|          |                  |               |                |                 |                  |                    |                  |                      |                          |                                    |         |



## 2.4 土的界限含水率试验

细粒土由于含水率不同,可分别处于流动状态、可塑状态、半固体状态和固体状态。因含水率变化而表现出的各种不同物理状态,称为细粒土的稠度。界限含水率(液限、塑限、缩限)就是区分不同状态的量度值。液限是土体从黏滞流状态到可塑状态的上限含水率。在该含水率时,土体对变形和剪切力产生一定阻力,它反映出土体具有可量度的最小强度值。塑限是土体从可塑状态转变为半固体状态的界限值,是塑性状态的下限含水率。在该含水率时,土体开始变得具有脆性。缩限是土体从半固体状态转变成固体状态的界限值,其特征是水分蒸发使土体积不再收缩时的含水率。

本试验主要目的是测定细粒土的液限、塑限和缩限三个基本界限含水率。各项含水率的测定按 2.1 节的烘干法进行。

下面介绍液、塑限联合测定法试验方法。要求学生了解试验方法的基本原理及适应范围,熟练使用液、塑限联合测定法确定土的液限和塑限。

### 2.4.1 液、塑限联合测定法

液、塑限联合测定法是根据圆锥仪的圆锥入土深度与其相应的含水率在双对数坐标上具有线性关系的特性来进行的。利用圆锥质量为 76 g 的液、塑限联合测定仪测得土在不同含水率时的圆锥入土深度,并绘制其关系直线图,在图上查得圆锥下沉深度为 10 mm (或 17 mm) 所对应的含水率即为液限,查得圆锥下沉深度为 2 mm 所对应的含水率即为塑限。

本试验方法适用于粒径小于 0.5 mm 以及有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。

#### 2.4.2.1 试验仪器设备

1. 液、塑限联合测定仪 (见图 2.2): 包括带标尺的圆锥仪、电磁铁、显示屏、控制开关和试样杯。圆锥质量为 76 g, 锥角为 30°; 读数显示宜采用光电式、游标式和百分表式;

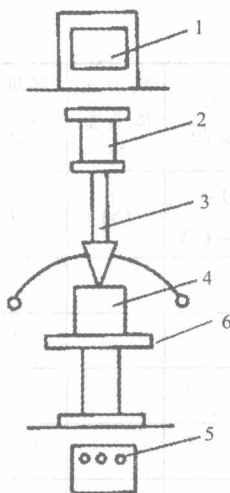


图 2.2 液、塑限联合测定仪示意图

1—显示屏; 2—电磁铁; 3—带标尺的圆锥仪; 4—试样杯; 5—控制开关; 6—升降座