



普通高等教育“十二五”精品规划教材

土力学实验

主 编 陈晓平 钱 波
副主编 余明东 胡建春



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”精品规划教材

土力学实验

主 编 陈晓平 钱 波

副主编 余明东 胡建春



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据暨南大学岩土实验室和西昌学院土力学实验室多年的实验教学实践以及西昌学院省级土木工程基础教学示范中心的开放实验室的特点而编写的,内容既注重学科基础理论和知识的运用,又注重将学科的新概念、新方法引入实验,力求将知识的传授与实际应用能力的培养结合起来。本书包括土样和试样制备、含水率、密度、土粒比重、颗粒分析、黏性土界限含水率、击实、渗透、固结、直接剪切、三轴压缩、地基静荷载等共计 12 大类、25 个教学实验,各章节后附有相应的思考题和习题。

本书可作为高等工科院校水利水电工程、土建工程及环境工程等专业及其他有关本科、专科的教材,并可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学实验 / 陈晓平, 钱波主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2011. 1
普通高等教育“十二五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-8184-5

I. ①土… II. ①陈… ②钱… III. ①土力学—实验
—高等学校—教材 IV. ①TU4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第246911号

书 名	普通高等教育“十二五”精品规划教材 土力学实验
作 者	主 编 陈晓平 钱 波 副主编 余明东 胡建春
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 5 印张 119 千字
版 次	2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	10.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

土力学是工科类高等院校水利水电工程、土建工程及环境工程等专业的一门重要专业基础课程，它属于应用学科，又属于工程技术学科，具有鲜明的实验性和实践性，其教学包括理论教学和实验教学两部分。土力学实验是土力学教学中，加强学生对基本概念、基本规律和基本理论理解的重要环节，也是培养学生了解实验及科研仪器、掌握操作技能、分析实验数据、整理实验成果和编写实验报告的能力。

本书在暨南大学岩土实验室和西昌学院土力学实验室多年实验教学经验及原有讲义的基础上，广泛吸收国内外相关实验教材的优点，结合土力学实验教学的实际以及编著者的自身实验工作经验编著而成，其内容涵盖了土力学教学大纲要求的所有实验。本书的编写结合暨南大学及西昌学院开放实验室的特点，力求符合学生的认识规律并便于学生独立操作，内容既注重学科基础理论和知识的运用，又注重将学科的新概念、新方法引入实验，力求将知识的传授与实际应用能力的培养结合起来。

本书由暨南大学陈晓平教授和西昌学院钱波副教授主编，副主编为西昌学院余明东及胡建春，全书由钱波统稿。全书共计十三章，第十一章、第十二章及第十三章由陈晓平编写，第一章、第八章、第九章及第十章由钱波编写，第五章、第六章及第七章由余明东编写，第二章、第三章及第四章由胡建春编写。

本书在编写的过程中得到了中国水利水电出版社的关心和支持，各兄弟院校的同行也提供了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心感谢！

由于时间仓促，水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

编者

2010年12月

目录

前言

第一章 误差的基本知识 1

 思考题 5

第二章 土样和试样制备 6

 第一节 概述 6

 第二节 土样预备 6

 第三节 试样制备 7

 第四节 试样饱和 8

 思考题 10

第三章 含水率实验 11

 第一节 概述 11

 第二节 烘干法 11

 第三节 酒精燃烧法 13

 思考题 13

第四章 密度实验 14

 第一节 概述 14

 第二节 环刀法 14

 第三节 蜡封法 16

 第四节 灌水法 17

 第五节 灌砂法 19

 思考题 23

第五章 土粒比重实验 24

 第一节 概述 24

 第二节 比重瓶法 24

 第三节 浮称法 27

 思考题 28

第六章 颗粒分析实验 29

 第一节 概述 29

 第二节 筛析法 29

 第三节 密度计法 32

思考题	37
第七章 黏性土界限含水率实验	38
第一节 概述	38
第二节 液限、塑限联合测定法	38
第三节 搓滚法测黏性土塑限	41
思考题	43
第八章 击实实验	44
第一节 概述	44
第二节 击实实验	44
思考题	48
第九章 渗透实验	49
第一节 概述	49
第二节 常水头渗透实验	49
第三节 变水头渗透实验	52
思考题	54
第十章 固结实验	55
第一节 概述	55
第二节 标准固结实验	55
思考题	59
第十一章 直接剪切实验	60
第一节 概述	60
第二节 直接剪切实验（快剪法）	60
思考题	63
第十二章 三轴压缩实验	64
第一节 概述	64
第二节 三轴压缩实验	64
思考题	70
第十三章 地基静荷载试验	71
第一节 概述	71
第二节 承压板载荷试验	71
第三节 单桩竖向静载试验	72
思考题	73
参考文献	74

第一章 误差的基本知识

一、误差的基本概念

在土力学实验过程中，离不开对土的各项指标的测量，测量有直接的，也有间接的。由于实验仪器设备、实验条件、环境等因素的限制，测量不可能无限精确，各指标的测量值与客观存在的真实值之间总会存在着一定的差异，这种差异就是误差。

误差与错误不同，错误是应该而且可以避免的，而误差是不可能绝对避免的。从实验的原理、实验所用的仪器及仪器的调整，到对物理量的每次测量，都不可避免地存在误差，并贯穿于整个实验过程的始终。充分研究科学实验和测量过程中存在的误差，具有以下重要意义。

(1) 正确认识误差的性质，分析产生的原因，以减小误差或消除某些误差。

(2) 正确处理数据，以便得到接近真值的数据和结果。

(3) 合理设计和组织实验，正确选用仪器与测量方法，使在一定条件下得到最佳结果。

二、真值

真值，是指在一定的时间及空间（位置或状态）条件下，被测量所体现的真实数值。通常所说的真值可以分为理论真值、约定真值和相对真值。

理论真值又称为绝对真值，是指在严格的条件下，根据一定的理论，按定义确定的数值。例如三角形的内角和恒为 180° ，一般情况下，理论真值是未知的。

约定真值是指用约定的办法确定的最高基准值，就给定的目的而言它被认为充分接近于真值，因而可以代替真值来使用。如：基准米定义为“光在真空中 $1/299792458s$ 的时间间隔内行程的长度”。测量中，修正过的算术平均值也可作为约定真值。

相对真值也叫实际值，是指将测量仪表按精度不同分为若干等级，高等级的测量仪表的测量值即为相对真值。例如，标准压力表所指示的压力值相对于普通压力表的指示值而言，即可认为是被测压力的相对真值。通常，高一级测量仪表的误差若为低一级测量仪表的 $1/10 \sim 1/3$ ，即可认为前者的示值是后者的相对真值。相对真值在误差测量中的应用最为广泛。

三、测量误差及其表示方法

测量结果与被测量真值之差称为测量误差。在实际测试中真值无法确定，因此常用约定真值或相对真值代替真值来确定测量误差。测量误差可以用以下几种方法表示。

1. 绝对误差

绝对误差是指测量结果的测量值与被测量的真值之间的差值，即

$$\Delta = x - x_0 \quad (1-1)$$

式中 Δ —— 绝对误差；

x_0 —— 真值，可为相对真值或约定真值；

x —— 测量值。

绝对误差 Δ 说明了系统示值偏离真值的大小，其值可正可负，具有和被测量相同的量纲。

2. 相对误差

相对误差定义为绝对误差 Δ 与真值 x_0 之比的百分数，即

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0} \times 100 \% \quad (1-2)$$

式中 δ —— 相对误差。

通常，用绝对误差来评价相同被测量测量精度的高低，用相对误差来评价不同被测量测量精度的高低。

3. 引用误差

相对误差可以评价不同被测量的测量精度，却不能用来评价不同仪表的质量。因为同一仪表在整个测量范围内的相对误差不是定值，由相对误差的定义可知，在绝对误差相同的情况下，随着被测量的减小，相对误差逐渐增大。为合理的评价仪表的测量质量，引入引用误差的概念。

引用误差定义为绝对误差 Δ 与测量仪表的满量程 A 的百分比，即

$$r = \frac{\Delta}{A} \times 100 \% \quad (1-3)$$

式中 r —— 引用误差。

四、误差的分类

根据误差的性质及其产生的原因，可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

1. 系统误差

在相同的条件下，对同一物理量进行多次测量，如果误差按照一定规律出现，则把这种误差称为系统误差 (system error)，简称系差。系统误差对测量值的影响总是有同一偏向或相近大小。如用未经校正的偏重的砝码称重，所得质量数值总是偏小。

2. 随机误差

当对某一物理量进行多次重复测量时，若误差出现的大小和符号均以不可预知的方式变化，则该误差为随机误差 (random error)，又称偶然误差。随机误差的数值一般都不大，不可预测但服从统计规律。误差理论就是研究随机误差规律的理论。

3. 粗大误差

明显超出规定条件下的预期值的误差称为粗大误差 (abnormal error)，又称过失误差。粗大误差一般是由于操作人员粗心大意、操作不当或实验条件没有达到预定要求就进行实验等造成的，并无一定规律。如读错、测错、记错数值、使用有缺陷的测量仪表等。

五、随机误差的表示法

1. 算术平均值 $\bar{X}_a$

采用式 (1-4) 计算算术平均值。

$$\bar{X}_a = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_{mi} \right) \quad (1-4)$$

式中 X_{mi} ——测量值；

i ——某一次数；

n ——测量次数，当 $n \rightarrow \infty$ 时， $X_a \rightarrow X_t$ ， X_t 表示真值。

2. 标准误差 S

测量值误差 $\delta_i = X_{mi} - X_t$ ，则标准误差

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}} \quad (1-5)$$

标准误差是各测量值误差平方和的平均值的平方根，又称均方根误差，对较大或较小的误差反应比较灵敏，是表示测量精度较好的一种方法。

3. 有限测量次数的标准误差

当测量次数无限多时算术平均值 X_a 才是真值 X_t ，当测量次数有限时， X_a 只能近似等于真值。设测量值偏差 $\alpha_i = X_{mi} - X_a$ ，它与误差 $\delta_i = X_{mi} - X_t$ 不相等，由测量中正负误差出现的概率相等可推出式 (1-6)。

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 = \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 可见，有限测量次数中用算术平均值计算的偏差平方和永远小于用真值计算的误差平方和，由此得出有限测量次数的标准误差计算公式

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{mi} - X_a)^2}{n-1}} \quad (1-7)$$

4. 误差的传递

在实验中，对长度、质量、位移等物理量能直接测量，但对应力、弹性模量等物理量一般不能直接测量，必须通过一些能直接测量的物理量按一定公式计算求得。这样计算出的间接测量结果具有一定的误差，如何由直接测量的误差计算间接测量的误差，这就是误差传递规律问题。

(1) 已知自变量误差求函数的误差——已知直接测量误差求间接测量误差。设函数 $y = f(X_1, X_2, \dots, X_r)$ ，其自变量 $X_1, X_2, \dots, X_r$ 为 r 个直接测量的物理量，其标准误差分别为 $S_1, S_2, \dots, S_r$ 。

对 $X_1, X_2, \dots, X_r$ 各作了 n 次测量，可算出 n 个 y 值，则每次测量的误差

$$\delta y_i = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right) \delta x_{1i} + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right) \delta x_{2i} + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_r} \right) \delta x_{ri} \quad (1-8)$$

两边平方

$$\delta y_i^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 \delta x_{1i}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 \delta x_{2i}^2 + \dots + 2 \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right) \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right) \delta x_{1i} \delta x_{2i} + \dots$$

($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

由正负误差出现的概率相等，当 n 足够大时，将所有 δy_i^2 相加，则非平方项对消而得出

$$\sum_{i=1}^n \delta y_i^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sum_{i=1}^n \delta x_{1i}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \sum_{i=1}^n \delta x_{2i}^2 + \cdots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_r}\right)^2 \sum_{i=1}^n \delta x_{ri}^2$$

两边除以 n 再开方得标准误差

$$S_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 S_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 S_2^2 + \cdots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_r}\right)^2 S_r^2}$$

相对标准误差

$$e_y = \frac{S_y}{y} = \sqrt{\left(\frac{1}{y} \times \frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 S_1^2 + \left(\frac{1}{y} \times \frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 S_2^2 + \cdots + \left(\frac{1}{y} \times \frac{\partial y}{\partial x_r}\right)^2 S_r^2} \quad (1-9)$$

(2) 已知函数误差求自变量的误差——给定间接测量值的误差, 求各直接测量允许的最大误差。通常当各实验测量值的误差难以估计时, 可用等效传递原理, 即假定各自变量的误差对函数误差的影响相等来解决。

根据下式

$$S_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 S_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 S_2^2 + \cdots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_r}\right)^2 S_r^2} = \sqrt{r \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)^2 S_i^2} = \sqrt{r} \frac{\partial y}{\partial x_i} S_i$$

各自变量的误差为

$$S_1 = \frac{S_y}{\sqrt{r} \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)}, S_2 = \frac{S_y}{\sqrt{r} \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)}, \cdots, S_r = \frac{S_y}{\sqrt{r} \left(\frac{\partial y}{\partial x_r}\right)} \quad (1-10)$$

六、减小系统误差的方法

分析和研究系统误差的最终目的是减小和消除系统误差。下面介绍一些常用的消除系统误差的方法。

1. 消除系统误差产生的根源

为减小系统误差的影响, 应该从测试系统的设计时入手。选用合适的测量方法以避免方法误差; 选择最佳的测量仪表与合理的装配工艺, 以减小工具误差; 选择合适的测量环境以减小环境误差。此外, 还需定期的检查、维修和校正测量仪器以保证测量的精度。

2. 引入更正值法

该方法主要用于消除定值系统误差。在测量之前, 通过对测量仪表进行校准, 可以得到更正值, 将更正值加入测量值中, 即得到被测量的真值。应该注意的是, 更正值本身的误差应小于所要求的测量误差。由于更正值本身也存在误差, 因此系统误差并没有完全消除, 只是大大地被削弱了。

更正值一般用 C 表示, 它是与测量误差的绝对值相等而符号相反的值。更正值给出的方式不一定是具体的数值, 也可以是一条曲线、公式或数表。在某些自动检测系统中, 预先将更正值储存于计算机的内存中, 这样可对测量结果中的系统误差自动进行修正。

3. 采用特殊测量方法消除系统误差

(1) 直接比较法。直接比较法即零位式测量法, 用于消除定值系统误差。该方法的优点在于当指示器的灵敏度足够高时, 测量的准确度取决于标准的已知量, 而标准量具的误差是很小的。

(2) 替代法。替代法主要用于消除定值系统误差, 其操作方法为用可调的标准量具取代被测量 x 接入测量仪表, 通过调节标准量具 A 的值使测量仪表的示值与被测量接入时相

同，于是有 $x = A$ 。

(3) 交换法。这种方法是指当测量仪表内部存在固定方向的误差因素时，将测量中的某些条件（如被测物的位置或被测量的极性）相互交换，使产生系差的原因对先后两次测量结果起反作用，将这两次测量结果加以适当的数学处理（通常取其算术平均值或几何平均值），即可消除系统误差。

(4) 微差法。这种方法是将被测量与已知的标准量进行比较，取其差值，然后用测量仪表测量这个差值。微差法只要求标准量与被测量相近，而用指示仪表测量其差值。这样，指示仪表的误差对测量的影响会大大减弱。

思 考 题

- (1) 什么是误差？产生误差的原因有哪些？
- (2) 减小系统误差的常用方法有哪些？
- (3) 什么是真值？

第二章 土样和试样制备

第一节 概 述

土力学课程中很少涉及土样和试样制备这部分内容，实际上，土样和试样制备是实验过程中最初始、最重要的环节，它直接决定着实验的成败和实验结果正确与否，是后续实验的一个相当重要的基础工作，应引起特别的关注。

土样在实验前必须经过的制备程序，包括土的风干、碾散、过筛、匀土分样和储存等预备程序以及制备试样程序。土样制备程序视需要的实验而异，故土样制备前应拟定土工实验计划。对密封的原状土样除小心搬运和妥善存放外，在实验前不应开启，实验前如需要进行土样鉴别和分类必须开启时，则在检验后，应迅速妥善封好储藏，应使土样少受扰动。

试样的制备是获得正确实验成果的前提，为保证实验成果的可靠性以及实验数据的可比性，应具备一个统一的试样制备方法和程序。试样的制备可分为原状土的试样制备和扰动土的试样制备。

第二节 土 样 预 备

一、细粒土样预备程序

(1) 将扰动土样进行土样描述，如颜色、土类、气味及夹杂物等；如有需要，将扰动土样充分拌匀，取代表性土样进行含水率测定。

(2) 将块状扰动土放在橡皮板上用木碾或碎土器碾散，但切勿压碎颗粒；如含水率较大不能碾散时，可先风干至易碾散为止。

(3) 根据实验所需土样数量，将碾散后的土样过筛。物理性实验如液限、塑限、缩限等实验，需过 0.5mm 筛；常规水理性及力学性实验土样，需过 2mm 筛；击实实验土样的最大粒径必须满足击实实验采用不同击实筒实验时的土样中最大颗粒粒径的要求。过筛后，取出足够数量的代表性土样，分别装入容器内，标以标签，以备各项实验之用。

(4) 为配制一定含水率的土样，取过 2mm 筛的足够实验用的风干土 1~5kg，计算所需的加水量；平铺在不吸水的盘内，用喷雾设备喷洒预计的加水量，并充分拌和；然后加入容器内盖紧，润湿一昼夜备用（砂性土润湿时间可酌情减短）。

(5) 测定湿润土样不同位置的含水率（至少 2 个以上），要求差值满足含水率测定的允许平行差值。

(6) 对不同土层的土样制备混合试样时，应根据各土层厚度，按比例计算相应质量配合，然后进行扰动土的制备工序。

二、粗粒土的预备程序

(1) 无凝聚性的松散砂类土、砾类土，取足够实验用的代表性土样做颗粒分析实验用，其余过 5mm 筛，筛上筛下土样分别储存，供做比重及最大、最小孔隙比等实验用，取一部分过 2mm 筛的土样备力学实验用。

(2) 有部分黏土黏附在砂砾土上面，则先用水浸泡，然后将浸泡过的土样在 2mm 筛上冲洗，取筛上及筛下具有代表性土样做颗粒大小分析用。

(3) 将过筛土样或冲洗下来的土浆风干至碾散为止，按细粒土样预备程序进行。

第三节 试样制备

一、原状土试样制备程序

(1) 将土样筒按标明的上下方向放置，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，不应制备力学性质实验的试样。

(2) 根据实验要求用环刀切取试样时，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，称环刀和土的总质量。

(3) 从余土中取代表性试样测定含水率。比重、颗粒分析、界限含水率等项目实验的取样按以下方式进行：对均质和含有机质的土样，宜采用天然含水率状态下代表性土样，供颗粒分析、界限含水率实验；对非均质土应根据实验项目取足够数量的土样，置于通风处晾干至可碾散为止；对砂土和进行比重实验的土样宜在 105~110℃ 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 65~70℃ 温度下烘干。

(4) 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。

二、扰动土试样制备程序

1. 一般要求

(1) 根据工程和设计的要求，将扰动土制备成所需的试样供进行湿化、膨胀、渗透、压缩及剪切等实验用。

(2) 试样制备的数量应根据实验需要而定，一般应多制备 1~2 个备用。制备试样密度、含水率与制备标准之差值应分别在 $\pm 0.02\text{g/cm}^3$ 与 1% 范围以内，平行实验或一组内各试样间之差值分别要求在 0.02g/cm^3 与 1% 以内。

(3) 扰动土试样的制备，视工程实际情况，分别采用击样法、击实法和压样法。

2. 击样法

(1) 根据环刀的容积及所要求的干密度，含水率按计算干土质量式 (2-1) 及计算土样制备含水率所加水量式 (2-2) 计算的用量，制备湿土样。

$$m_d = \frac{m}{1 + 0.01w_0} \quad (2-1)$$

式中 m_d ——干土质量, g;

m ——风干土质量 (或天然湿土质量), g;

w_0 ——风干含水率 (或天然含水率), %。

$$m_w = \frac{m}{1 + 0.01w_0} \times 0.01(w' - w_0) \quad (2-2)$$

式中 m_w ——土样所需加水质量, g;

m ——风干含水率时的土样质量, g;

w_0 ——风干含水率, %;

w' ——土样所要求的含水率, %。

(2) 将湿土倒入预先装好的环刀内, 并固定在底板上的击实器内, 用击实方法将土击入环刀内。

(3) 取出环刀, 称环刀、土总量, 并符合扰动土试样制备的一般要求。

3. 击实法

(1) 根据试样所要求的干密度含水率按式 (2-1) 和式 (2-2) 计算的用量, 制备湿土样。

(2) 选用击实筒, 按照《击实试验》(SL 237-011-1999) 击实程序, 将土样击实到所需的密度, 并用推土器推出。

(3) 将实验用的切土环刀内壁涂一薄层凡士林, 刃口向下, 放在土样上。用切土刀将土样切削成稍大于环刀直径的土柱, 然后, 将环刀垂直向下压, 边压边削, 至土样伸出环刀上部为止, 削去两端余土并修平, 擦净环刀外壁, 称环刀、土总量, 精确至 0.1g, 并测定环刀两端所削下土样的含水率。

(4) 试样制备应尽量迅速操作或在保湿间内进行, 避免水分蒸发。

4. 压样法

按试样所要求的干密度、含水率, 制备湿土样, 并称出制备好的湿土样质量, 精确至 0.1g。将湿土倒入装有环刀的压样器内, 采用静压力通过活塞将土样压紧到的所需密度, 然后取出带有试样的环刀, 称环刀和试样的总质量以及环刀两端所削下土样的含水率。

第四节 试样饱和

土的孔隙逐渐被水填充的过程称为饱和, 当孔隙被水充满时的土, 称为饱和土。试样饱和方法视土的性质选用浸水饱和法、毛管饱和法及真空抽气饱和法三种。

粗粒土 (砂类土): 可采用直接在仪器内对试样进行浸水饱和。

较易透水的黏性土: 渗透系数大于 10^{-4} cm/s 的细粒土, 可采用毛细管饱和法或采用浸水饱和法。

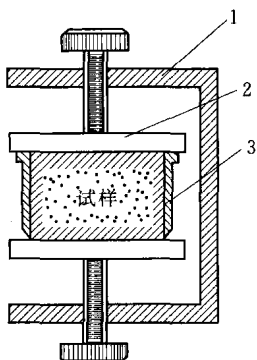
不易透水的黏性土: 渗透系数小于、等于 10^{-4} cm/s 的细粒土, 可采用真空抽气饱和法, 如土的结构性较弱, 抽气可能发生扰动, 不宜采用。

一、毛细管饱和法

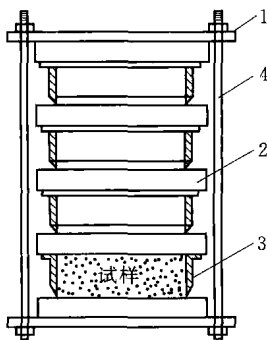
1. 仪器设备

(1) 框式饱和器或重叠式饱和器 (图 2-1)。

- (2) 水箱，带盖。
- (3) 天平，感量 0.1g。



(a) 框式饱和器



(b) 叠式饱和器

图 2-1 饱和器

1—夹板；2—透水板；3 环刀；4—拉杆

2. 操作步骤

(1) 选用框式饱和器，在装有试样的环刀上、下两面分别放滤纸和透水石，装入饱和器内，并通过框架两端的螺丝将透水石、环刀夹紧。

(2) 将装好试样的饱和器放入水箱内，注入清水，水面不宜将试样淹没，以使土中气体得以排出。

(3) 关上箱盖，防止水分蒸发，浸水时间不得少于两昼夜，以使试样充分饱和。

(4) 试样饱和后，取出饱和器，松开螺母，取出环刀擦干外壁，取下试样上下的滤纸，称环刀和试样的总质量，准确至 0.1g，并按式 (2-3) 计算试样的饱和度，当饱和度低于 95% 时，应继续饱和。

$$S_r = \frac{(\rho - \rho_d)G_s}{e\rho_d} \quad \text{或} \quad S_r = \frac{wG_s}{e} \quad (2-3)$$

式中 S_r ——饱和度，%；

ρ ——饱和后的密度，g/cm³；

ρ_d ——土的干密度，g/cm³；

e ——土的孔隙比；

G_s ——土粒比重；

w ——饱和后的含水率，%。

二、真空抽气饱和法

1. 仪器设备

(1) 真空饱和法装置如图 2-2 所示。

(2) 天平。

2. 操作步骤

(1) 选用重叠式或框式饱和器和真空饱和装置。在重叠式饱和器下夹板的正中，依次放置透水石、滤纸、带试样的环刀、滤纸、透水石，如此顺序重复，由下向上重叠到拉杆高度，将饱和器上夹板盖好后，拧紧拉杆上端的螺母，将各个环刀在上、下夹板间夹紧。

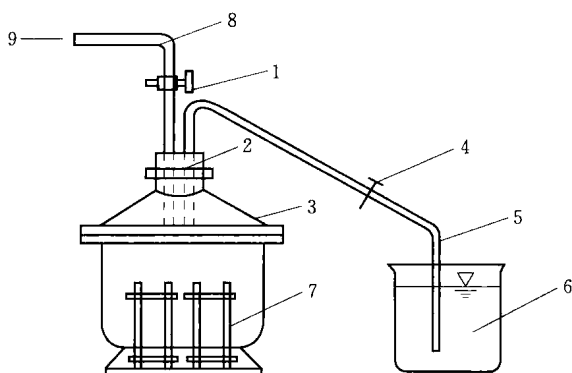


图 2-2 真空饱和法装置

1—三通阀；2—橡皮塞；3—真空缸；4—管夹；5—引水管；6—盛水器；7—饱和器；
8—排气管；9—接抽气机

(2) 将装有试样的饱和器放入真空缸内，真空缸和盖之间涂一薄层凡士林，并盖紧。

(3) 将真空缸与抽气机接通，启动抽气机，当真空压力表读数接近当地一个大气压力值后，继续抽气不少于 1h，然后微开管夹，使清水由引水管徐徐注入真空缸内。在注水过程中，微调管夹，以使真空气压力表读数基本保持不变。

(4) 待水淹没饱和器后，即停止抽气，开管夹使空气进入真空缸，静止一段时间，对于细粒土，为 10h 左右，借助大气压力，从而使试样充分饱和。

(5) 打开真空缸，从饱和器内取出带环刀的试样，称环刀和试样总质量，并计算试样的饱和度，当饱和度低于 95% 时，应继续抽气饱和。

思考题

- (1) 粗粒土和细粒土在预备程序上有何异同？
- (2) 原状土制备和扰动土样制备程序分别是什么？
- (3) 试样饱和的方法有哪些？各有什么特点？其适用条件是什么？

第三章 含水率实验

第一节 概 述

土的含水率是指土试样在温度 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘到恒重时所失去的水分重量与达到恒重后干土重量的比值，以百分数表示。含水率是土体的基本实验指标之一，它反映土的干、湿状态，只能通过实验测定。含水率的变化将使土物理力学性质发生一系列变化，它可使土变成半固态、可塑状态或流动状态，可使土变成稍湿状态、很湿状态或饱和状态，也可造成土在压缩性和稳定性上的差异。含水率还是计算土的干密度、孔隙比、饱和度、液性指数等不可缺少的依据，与土粒比重、天然密度合称为土的直接实验指标，是确定土的其他物理指标的重要基础实验指标。

测定土含水率的方法有多种，如烘干法、酒精燃烧法、比重法、碳化钙气压法、炒干法、实容积法等，室内实验以烘干法为标准方法，野外如无烘箱设备或需要快速测定含水率时，可依据土的性质和工程情况采用酒精燃烧法、比重法等。在此仅介绍烘干法和酒精燃烧法。

第二节 烘 干 法

一、实验目的

测定土的含水率，以了解土的含水情况，供计算土的空隙比、液性指数、饱和度和其他物理力学性质指标。土的含水率是不可缺少的一个基本指标。

二、实验原理

含水率反映土的状态，含水率的变化将使土的一系列物理力学性质指标随之而晃。这种影响表现在各个方面，如反映在土的稠度方面，使土成为坚硬的、可塑的或流动的；反映在土内水分的饱和程度方面，使土成为稍湿、很湿或饱和的；反映在土的力学性质方面，能使土的结构强度增加或减小，紧密或疏松，构成压缩性及稳定性的变化。测定含水率的方法有烘干法、酒精燃烧法、炒干法、微波法等。

三、实验设备

- (1) 烘箱：采用电热烘箱或温度能保持在 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 的其他能源烘箱。
- (2) 天平：称量 500g ，分度值 0.01g 。
- (3) 铝盒：根据所用铝盒号码可从实验室查出其重量。
- (4) 干燥器：通常使用附有氯化钙干燥剂的玻璃干燥缸。
- (5) 其他：玻璃称量瓶、削土刀、匙、玻璃板或盛土容器等。

四、操作步骤

- (1) 从原状或扰动土样中，选取具有代表性的试样约 $15\sim 30\text{g}$ （有机质土、砂类土和