



“十五”规划系列教材

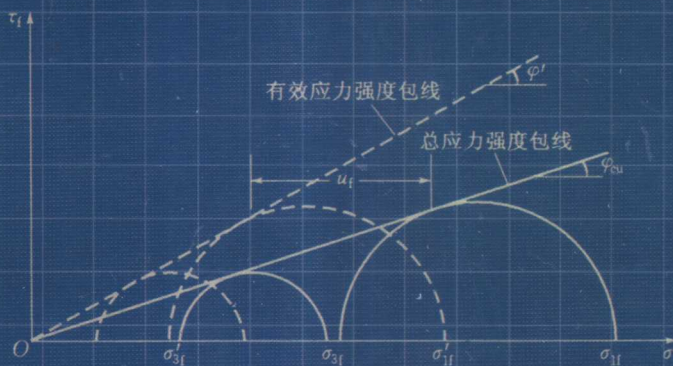
SHI WU GUIHUA XILIE JIAOCAI

PRINCIPLE OF GEOTECHNICAL TESTING

土工测试技术

(第二版)

王保田 编著



● 河海大学出版社

TU41
V-163

河海大学“十五”规划系列教材

土工测试技术

(第二版)

王保田 编著

河海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土工测试技术/王保田编. —南京:河海大学出版社,
2000.12

ISBN 7-5630-1565-5

I. 土... II. 王... III. 土工试验 IV. TU41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 84560 号

书 名 / 土工测试技术

书 号 / ISBN 7-5630-1565-5/TU·58

责任编辑 / 施 萍

封面设计 / 黄 炜

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)83737852(总编室)

(025)83722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 丹阳市教育印刷厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 9

字 数 / 180 千字

版 次 / 2005 年 5 月第 2 版

印 次 / 2005 年 5 月第 2 次印刷

定 价 / 14.80 元(册)

前 言

土工测试技术是岩土工程学科的重要组成部分。岩土工程设计参数就是由设计合理、条件相似、方法和操作正确的岩土工程测试得到的。土工测试技术一般分为室内试验和现场测试两部分,本教材包括了常用的室内试验和现场测试内容。

土力学教学中特别强调土工试验,河海大学在 80 年代初编写了土工试验指导书和土工试验报告,供土工试验课程教学使用。90 年代初,由于土工试验规范和岩土工程规范的较大变动,迫切需要新的土工试验教材。因此,笔者在此背景下编写了《土工测试技术》作为土工试验指导教材。教材中有许多内容沿袭了土工试验指导书中合理部分,充实了现场测试部分和笔者多年来试验工作成果。教材先作为讲义使用了三年,2000 年以《土工测试技术》一书正式出版。初版教材已使用了四年,现根据兄弟院校师生的建议和我们使用的经验,在内容上需作适当的调整和增减,故决定修订再版。

本教材中室内试验部分以中华人民共和国国家标准《土工试验方法标准》(GB/T50123—1999)为基准,参照水利部、交通部相关标准编写,包括了常用的 11 种土工试验方法并简要介绍了土样和试样的制备方法;现场测试部分以《岩土工程勘察规范》为基准,参照其他手册和教学参考书编写而成。

室内试验包括了土的物理性质指标、渗透性、击实性、压缩性和抗剪强度特性等几个方面的内容;现场测试包括静力、动力和波动测试等内容。每一种试验介绍了基本原理、仪器设备、操作步骤、试验记录、成果整理及笔者多年从事试验工作的经验总结等几个方面的内容。

土工试验成果的可靠性和能否应用于具体工程设计中,主要与测试设备的工作状态、操作人员的熟练程度、取样的代表性、取样和制样过程中的扰动情况、试验工作条件与现场受力特性的差异等诸多因素有关。

作为试验操作人员,应始终保持试验仪器处于良好的工作状态,细心整理试验成果,详细记录试验过程中出现的各种异常现象。只有这样,才能使试验成果有较高的可靠性。

学生通过本课程的学习,要求掌握各种试验的基本原理、操作方法和成果整理方法,了解各种试验仪器的工作原理、校验方法及维护措施。若能通过本课程的学习掌握土体各物理力学参数的基本范围则是笔者所盼达到的境界。本教材作为岩土工程专业土工试验课程教材,并作为水利、土木等学科各专业本专科生和研究生土工试验参考书,同时也可作为从事土工试验和现场测试专业技术人员的参考书。

本教材经方开泽教授仔细审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示最衷心的感谢。河海大学岩土工程研究所余湘娟、张福海等教师在使用期间提出了许多宝贵意见。河海大学将本教材列入学校十五规划重点教材之一,笔者借该书出版之际,向所有关心本教材的出版付出辛勤汗水的同仁们表示深深的谢意。

由于作者水平有限,书中错漏之处在所难免,望读者如初版一样,继续提出宝贵的意见,以在下一版改版时修订。

王保田

2004年12月

.

目 录

上篇 室内试验

第 1 章	含水率试验	1
1-1	概述	1
1-2	试验原理	1
1-3	烘干法测定含水率	2
1-4	酒精燃烧法	4
1-5	附加说明	4
	思考题	5
第 2 章	密度试验	6
2-1	概述	6
2-2	试验原理	7
2-3	环刀法	7
2-4	蜡封法	8
2-5	附加说明	10
	思考题	10
第 3 章	比重试验	11
3-1	概述	11
3-2	试验原理	11
3-3	比重瓶法	12
3-4	浮称法	14
3-5	虹吸筒法	15
3-6	附加说明	17
	思考题	18
第 4 章	颗粒分析试验	19
4-1	概述	19
4-2	试验原理	19

4-3 筛析法	22
4-4 密度计法(比重计法)	24
4-5 移液管法(吸管法)	29
4-6 附加说明	31
思考题	31
第5章 界限含水率(稠度)试验	32
5-1 概述	32
5-2 试验原理和试验方法	33
5-3 仪器构造和试验步骤	34
5-4 试验记录和试验成果	39
思考题	41
第6章 相对密实度试验	42
6-1 概述	42
6-2 试验原理和试验方法	43
6-3 试验仪器和操作步骤	43
6-4 试验记录和附加说明	45
思考题	46
第7章 击实试验	47
7-1 概述	47
7-2 试验原理	47
7-3 试验仪器及操作步骤	48
7-4 试验记录、试验成果和附加说明	50
第8章 渗透试验	52
8-1 概述	52
8-2 试验原理	52
8-3 试验设备及试验操作	55
8-4 试验记录、试验成果和附加说明	57
思考题	59
第9章 固结试验(压缩试验)	60
9-1 概述	60
9-2 试验原理和计算公式	60
9-3 试验仪器及试验步骤	63

9-4 试验记录、试验成果和附加说明	65
第 10 章 直接剪切试验	68
10-1 概述	68
10-2 试验原理和计算公式	68
10-3 试验设备及试验步骤	69
10-4 试验记录、试验成果和附加说明	71
思考题	72
第 11 章 三轴剪切试验	73
11-1 概述	73
11-2 试验原理和计算公式	73
11-3 试验仪器和试验步骤	75
11-4 试验记录、试验成果和附加说明	81
思考题	85
第 12 章 土样和试样制备	86
12-1 概述	86
12-2 土样和试样制备程序	87

下篇 现场测试

第 13 章 载荷试验	90
13-1 概述	90
13-2 平板载荷试验仪器设备	91
13-3 平板载荷试验步骤、资料整理和成果应用	93
13-4 螺旋板载荷试验	96
第 14 章 静力触探试验	99
14-1 概述	99
14-2 仪器设备	99
14-3 现场试验操作	101
14-4 成果整理及应用	102
第 15 章 圆锥动力触探试验	105
15-1 概述	105
15-2 圆锥动力触探的基本原理	106

15-3	动力触探试验方法	109
15-4	资料整理和成果应用	110
第 16 章	现场直剪试验	112
16-1	概述	112
16-2	大面积直剪试验	112
16-3	水平推剪试验	114
16-4	原位十字板试验	116
第 17 章	旁压试验和扁铲侧胀试验	120
17-1	概述	120
17-2	旁压试验	121
17-3	扁铲侧胀试验	126
第 18 章	波速测试	129
18-1	概述	129
18-2	弹性波的传播规律	129
18-3	波速测试在岩土工程中的应用	131
参考文献		135

上篇 室内试验

第1章

含水率试验

1-1 概 述

土体含水率 w 是土的物理性质指标之一。土体含水率高低与粘性土的强度和压缩性具有密切的关系。土体在各种状态下的含水率是计算其它物理性质指标、测量其它物理状态指标的基本物理性质指标。含水率试验是土的基本试验之一。

1-2 试验原理

无机土的含水率是指土样在 105°C 至 110°C 的温度下烘干至恒重时所失去的水分质量与烘干土质量的比值,用百分数表示。即

$$w = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中: w —— 土样含水率($\%$);

m —— 湿土质量,单位:克(g);

m_s —— 烘干土质量,单位:克(g)。

含水率试验的室内试验方法以烘干法为标准方法。在野外,如条件不满足可依土的性质和工作条件选用如下试验方法:

1. 酒精燃烧法;
2. 比重法(适用于砂性土);
3. 实容积法(适用于粘性土);
4. 炒干法(适用于砾质土)。

含水率试验的上述方法适用于无机土(有机质含量低于5%),对于有机质土和有机土,因有机质土在温度较高时会发生分解,使测得的含水率偏高,从而造成试验误差。

有机质含量超过5%的有机质土和有机土,含结晶水矿物组成的土,如含石膏和硫酸盐矿物的土,因结晶水在100℃左右会发生失水反应,使矿物性质发生变化,因此需采用65℃~70℃温度将土烘干至恒重,测量其含水率。

上述各种试验方法都是利用水在加温后逐渐变成水蒸气的性质。加热一定时间后,在温度不高于110℃时,土中自由水全部变成气体挥发,之后土重不再发生变化,即处于恒重状态。这时挥发掉的水重 $m_w = m - m_s$ 。土恒重即认为是干土质量。对粘性土, m_s 实际上是土粒质量与强结合水质量之和,因强结合水需要温度高于120℃才能析出,故将其作为固体颗粒的一部分。强结合水与土颗粒结合紧密,具有一定的抗剪强度,在压力作用下不易转化成自由水,因此,将其作为固体的一部分较为合理。

1-3 烘干法测定含水率

一、仪器设备

烘干法试验需要的仪器设备主要包括:

1. 恒温烘箱 一般要求在50℃~200℃范围内能在任一点保持一定恒温范围。最常用的恒温范围在105℃~110℃,控制温度的精度高于±2℃;
2. 天平 称量200 g,感量0.01 g。常用天平分机械天平和电子天平两类;
3. 附属设备 铝盒(称量盒)、干燥器、铅丝篮、温度计等。

二、操作步骤

烘干法含水率试验的操作主要步骤包括:

1. 对细粒土,取代表性试样15~30 g,对于砾类土,取100 g以上试样。将试

表格过程中,要求使用黑色圆珠笔或钢笔填写,特别注意严禁随意涂改试验记录,对于书写错误,用细线杠去错误数字(要能清楚看出错误数字),把正确数字写在旁边,试验人员要签章。

1-4 酒精燃烧法

一、仪器设备

酒精燃烧法仪器设备主要包括:

1. 铝盒(称量盒);
2. 天平 称量 200 g,感量 0.01 g;
3. 酒精 纯度高于 95%;
4. 其它 滴管,火柴,调土刀等。

二、操作步骤

酒精燃烧法测定土样中含水率的原理是通过酒精燃烧过程中产生的热量使土中水气化蒸发。主要操作步骤如下:

1. 取代表性试样(粘性土 5~10 g,砂性土 20~30 g),放入铝盒内,盖好盒盖,称盒加湿土质量 m_1 ,准确至 0.01 g。 m_1 减去铝盒质量 m_0 即为湿土质量 $m = m_1 - m_0$;
2. 用滴管将酒精注入放有试样的铝盒中,至酒精超过试样面为止。轻轻敲击铝盒,使酒精与土样充分混合均匀;
3. 点燃盒中酒精,烧至火焰熄灭;
4. 让试样冷却数分钟,按 2 至 3 的步骤再重复燃烧两次。当第三次火焰熄灭后,立即盖好盒盖,称量盒加干土质量 m_2 ,准确至 0.01 g。干土质量 m_s 为:
 $m_s = m_2 - m_0$;
5. 与烘干法记录格式一样(见表 1-1)记录。每个试样平行测定两次。计算公式及允许平行差与烘干法相同。

1-5 附加说明

1. 含水率试验以烘干法和酒精燃烧法最为常用。若在实际工作中需要采用

其它方法,如炒干法、风干法、微波炉快速烘干法等,这些方法的操作步骤参见文献[2,6]。

2. 含水率试验中,质量测定精确至 0.01 g。含水率的每个计算值准确至小数点后两位,平均值准确至小数点后 1 位。铝盒质量由于磨损及氧化作用随时间发生变化。对查表得出的铝盒质量,规范要求使用 3~6 个月后率定一次铝盒质量。

3. 现场取至实验室的原状土样,在取样和运输过程中,含水率会重新分布。如土样中间与外围、顶部与底部存在含水率差异。在测定含水率的取样时,所谓代表性土样即指各部位土样都有,使测出的平均含水率能代表原状土样含水率。

4. 平行试验的含水率误差允许范围的规定,是针对均匀的同一块土样在试验过程中取两个试样测定含水率时产生的试验误差。对于不均匀土取样做含水率试验结果,取平均值时不受此限制。特别是在一个样筒的不同水位取含水率试验,可以有较大的差值。

5. 室内试验过程中的误差来源和注意事项如下:

(1) 天平未调平(机械天平)或零点漂移(电子天平)。要求将天平放在平整结实的台板上,保持天平间干燥、无振动。天平间内温度变化小,相对湿度低于 75%,不能放置高温发热物体。窗帘采用红黑双层布组成。电子天平要开机预热 30 分钟,用标准砝码校验后,才能作为测量工作器具;

(2) 铝盒质量改变。在试验过程中禁止用铁刀等硬物刮铝盒,试验后将铝盒洗净晾干放置,试验前烘干铝盒。每隔 3~6 个月复核一次铝盒质量;

(3) 试样没有烘干。在有此疑问时,称量后放入烘箱再烘干 4 小时后称干土质量。计算含水率时,若前后两次测量含水率有显著差异,则应继续对土进行烘干;

(4) 在向铝盒装土时,有部分土掉出盒外或留在盒外;

(5) 计算错误和测试过程中的操作错误等因素造成的较大误差。要求计算分析时计算者和校核者分开,整个试验过程严格按照规范操作;

(6) 土样中含有机质。有机质在温度较高时发生分解和碳化,使测得的含水率偏高。当确定土体中有机质含量超过 5% 时,需降低烘干温度,不允许用酒精燃烧法等温度高又不能控制温度的方法进行含水率试验。

思 考 题

1. 烘干法与酒精燃烧法测量砂土和粘性土的含水率时,哪种土含水率差别较大,为什么?
2. 为什么有机质土要用较低温度烘干?

密度试验

2-1 概 述

土体的密度是需要直接测量的物理性质指标之一。土体密度大小与土的松紧程度、压缩性、抗剪强度等均有密切联系。土体密度是计算地基自重应力的重要参数。密度测试还是土体相对密实度等物理指标的测试方法。

单位体积土体质量叫土的密度,定义式为:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中: ρ ——土样密度,单位 g/cm^3 ;

m ——土样质量,单位 g ;

V ——土样体积,单位 cm^3 。

实验室内直接测量的密度为湿密度(对原状土称作天然密度),用 ρ 表示。工程中常用的土体在不同状态下的密度有干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 、浮密度 ρ' 等。与密度相对应的常用指标——重度的定义为单位体积土体的重量。定义式为:

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (2-2)$$

式中: γ ——土样重度,单位 kN/m^3 ,有时也称作容重;

g ——重力加速度,一般取 $9.81 \text{ m}/\text{s}^2$;

其余符号同前。

与不同状态下土的密度对应的不同状态土的重度分别记作:干重度 γ_d 、饱和重度 γ_{sat} 、浮重度 γ' 。除湿密度以外,其它密度均是计算指标,不需要试验便可直

接由土的含水率、湿密度和土粒比重计算得到。

本章介绍湿密度的实验室测定方法。

2-2 试验原理

根据公式(2-1),密度试验方法包括测定试样体积 V 和质量 m 。试验时,将土充满给定容积 V 的容器,然后称取该体积土的质量 m 。或者反过来,测定一定质量 m 的土所占的体积。前者最常用的有环刀法,后者有蜡封法、灌砂法、灌水法等。

2-3 环刀法

一、仪器设备

环刀法测试土的密度需要如下设备:

1. 环刀 内径 6~8 cm,高 2~3 cm。体积定期校正为恒值,常用环刀体积为 60 cm^3 ;
2. 天平 称量 200 g,感量 0.01 g。也可用称量 1 000 g,感量 0.1 g 的天平;
3. 附加设备 切土刀,钢丝锯,凡士林等。

二、操作步骤

1. 取原状土或制备的扰动土样,整平两端,将环刀内壁涂一薄层凡士林,刃口向下放在土样上,将环刀垂直向下压至约刃口深处,用切土刀(或钢丝锯)将土样切成略大于环刀直径的土柱后,边压边削,直至土样伸出环刀顶部,将两端余土削平;
2. 用切下的代表性土样测定含水率 w ;
3. 擦净环刀外壁,称环刀加土的质量 m_1 ,准确至 0.1 g;
4. 按下式计算试样密度和干密度:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V} \quad (2-3)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (2-4)$$

式中： ρ ——试样密度，单位 g/cm^3 ；

ρ_d ——试样干密度，单位 g/cm^3 ；

m_1 ——环刀加试样质量，单位 g ；

m_0 ——环刀质量，单位 g ；

V ——环刀容积，单位 cm^3 ；

w ——试样含水率 $\%$ 。

5. 按 1 至 4 的步骤进行两次平行测定，其平行差不得大于 $0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，取其算术平均值作为试验结果。

三、试验记录

环刀法测定土的密度记录格式及成果可参考表 2-1。

表 2-1 密度试验(环刀法)

工程名称：_____

试验者：_____

送检单位：_____

计算者：_____

土样编号：_____

校核者：_____

试验日期：_____

试验说明：_____

试样 编号	试样 类别	环刀 号	环刀质量 (g)	环刀体积 (cm^3)	环刀+湿土 质量(g)	湿土质 量(g)	密度 (g/cm^3)	平均密度 (g/cm^3)	含水率 %	干密度 (g/cm^3)

2-4 蜡封法

当土样易碎易裂或较硬而不易切割成型时，不能用环刀法测试土的密度，这时常采用蜡封法测试土的密度。

一、仪器设备

蜡封法测试土的密度使用的主要仪器包括：

1. 天平 称量 200 g ，感量 0.01 g ；具有吊环方式称量方法，机械式天平如图