

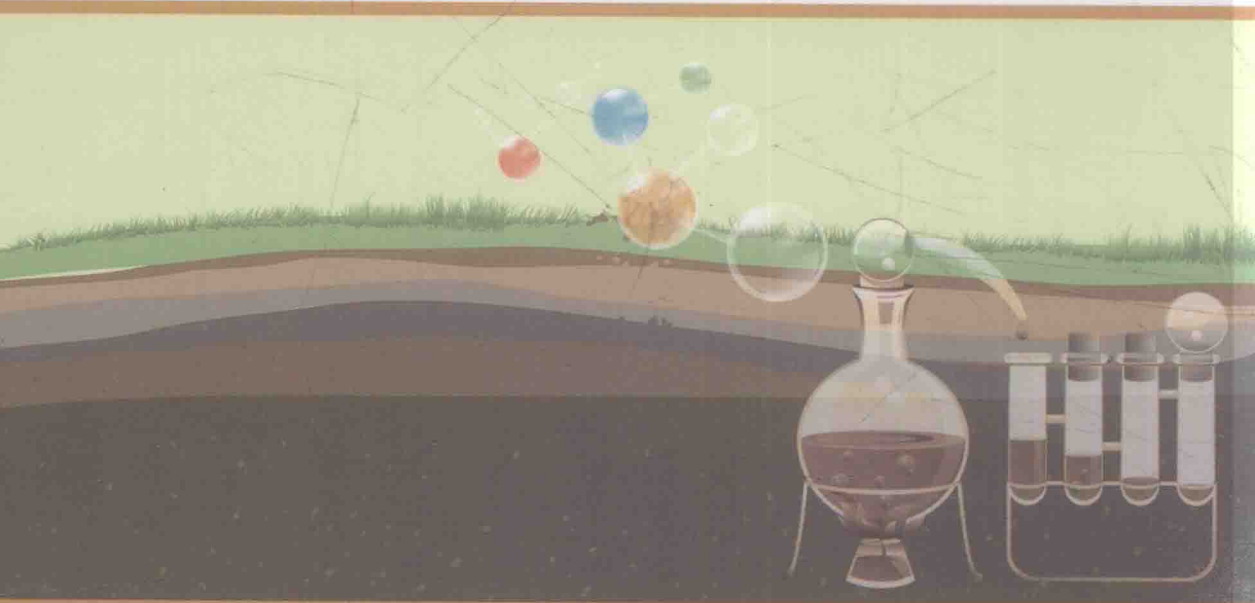


土木工程实验系列教材
TUMU GONGCHENG SHIYAN XILIE JIAOCAI

土力学实验

TULIXUE SHIYAN

主 编 巴凌真
主 审 刘叔灼 谷任国



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

土木工程实验系列教材

土力学实验

主编 巴凌真

主审 刘叔灼 谷任国



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

土力学实验/巴凌真主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2016. 9

土木工程实验系列教材

ISBN 978 - 7 - 5623 - 4987 - 7

I. ①土… II. ①巴… 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(2016)第 158210 号

土力学实验

巴凌真 主编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 庄 彦

印 刷 者: 广州市怡升印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 8 字数: 192 千

版 次: 2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 15.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

土木工程实验系列教材

编辑委员会

主 任：苏 成

副主任：王 湛

编 委：（按姓氏笔画排序）

巴凌真 邓 晖 杨医博

时丽珉 张汉平 郑亚晶

郑国梁 黄文通 程香菊

前 言

土力学是一门研究土体的应力、变形、强度、渗流及其稳定性的学科，是高等院校土木工程、水利水电工程、工程管理等众多专业的专业基础课。由于土体非常复杂的差异性，与其他学科相比，土力学还处于不够完善和成熟的状态，具有很强的实践性，实验检验修正对土力学的研究与发展具有非常重要的意义。

本书以培养学生动手能力、分析解决问题能力和创新能力为指导思想，根据相关专业的土力学课程理论教学内容，结合编者多年实验教学经验编写而成。

本书以国标《GB/T 50123—1999 土工试验方法标准》为基准，同时引入了水利部《SL 237—1999 土工试验规程》和交通部《JTG E40—2007 公路土工试验规程》两本规范，对同一试验在不同行业中的操作及数据处理的异同进行了比较，既能适应不同专业的实验需求，又能丰富读者对土力学实验方法的认识。

全书共 12 章，由试样制备及饱和与 11 个试验项目组成，基本涵盖了土力学理论教学中所涉及的试验项目。每个试验项目都对试验目的、方法、仪器设备、步骤、数据处理及注意事项等进行了讲解，章末设有思考题。书后附有土力学实验报告书，包括试验前的预习，试验过程中的数据记录，以及试验后的数据处理及分析。

本书编写单位及编写人员如下：

华南理工大学巴凌真(第 1、2、3、4、5、11、12 章)，肖云(第 6、7 章)；广东工业大学刘勇健(第 9 章)；广州大学廖原(第 6 章)；华南农业大学胡威(第 8 章)；华南理工大学广州学院张先念(第 10 章)。全书由华南理工大学巴凌真主编，刘叔灼和谷任国主审。

本书既可作为相关专业的土力学实验指导教材，也可供广大从事土力学实验的生产、教学和科研人员参考。

限于编者水平，书中难免存在不足和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 5 月于华南理工大学

目 录

第 1 章 试样制备及饱和	1
1.1 试验目的和适用范围	1
1.2 仪器设备	1
1.3 扰动土试样制备	1
1.4 原状土试样制备	3
1.5 试样饱和	4
1.6 试验计算	5
第 2 章 含水率试验	7
2.1 试验目的	7
2.2 试验方法和适用范围	7
2.3 烘干法	7
2.4 酒精燃烧法	9
2.5 含水率计算	9
第 3 章 密度试验	11
3.1 试验目的	11
3.2 试验方法和适用范围	11
3.3 环刀法	11
3.4 蜡封法	12
第 4 章 土粒比重试验	15
4.1 试验目的	15
4.2 试验方法和适用范围	15
4.3 比重瓶法	15
第 5 章 颗粒分析试验	18
5.1 试验目的	18
5.2 试验方法和适用范围	18
5.3 筛析法	18
5.4 密度计法	22
第 6 章 界限含水率试验	28
6.1 试验目的	28
6.2 试验方法和适用范围	28
6.3 液塑限联合测定法	28

6.4 滚搓法塑限试验	34
第7章 击实试验	36
7.1 试验目的	36
7.2 试验方法和适用范围	36
7.3 仪器设备	36
7.4 试样制备	37
7.5 试验步骤	38
7.6 计算和制图	39
7.7 注意事项	40
第8章 渗透试验	42
8.1 试验目的	42
8.2 试验方法和适用范围	42
8.3 常水头渗透试验	42
8.4 变水头渗透试验	44
8.5 试验计算	45
8.6 注意事项	47
第9章 固结试验	49
9.1 试验目的	49
9.2 试验方法和适用范围	49
9.3 仪器设备	49
9.4 试验步骤	49
9.5 计算与制图	52
9.6 注意事项	55
第10章 直接剪切试验	56
10.1 试验目的	56
10.2 试验方法和适用范围	56
10.3 仪器设备	56
10.4 试验步骤	58
10.5 计算与制图	59
10.6 注意事项	61
第11章 三轴压缩试验	62
11.1 试验目的	62
11.2 试验方法和适用范围	62
11.3 仪器设备	62
11.4 试验步骤	65
11.5 注意事项	73
第12章 开放性试验	74
12.1 开放性试验的目的	74

12.2 开放性试验的类型	74
12.3 开放性试验实施步骤	74
12.4 开放性试验项目	76
参考文献	79

第1章 试样制备及饱和

1.1 试验目的和适用范围

试样的制备程序是试验工作的第一个质量要素。为保证试验成果的可靠性和试验数据的可比性,必须统一土样的制备方法和程序。

本试验方法适用于颗粒粒径小于60 mm的原状土样和扰动土样。原状土样是保持天然结构和天然含水率的土样,可用于测定天然土的物理、力学性质,如天然密度、天然含水率、土粒比重、渗透系数、压缩系数和抗剪强度等。扰动土样是天然结构受到破坏或含水率改变,或二者兼而有之的土样,常用来测定土的颗粒组成、土粒比重、塑限、液限、最优含水率等。本章以使用最为广泛的环刀试样为例,详细介绍扰动土试样和原状土试样的制备及饱和方法,对特殊试样的制备及饱和分别在相关试验项目中阐述。

1.2 仪器设备

(1)分析筛:孔径0.5 mm、2 mm、5 mm。

(2)洗筛:孔径0.075 mm。

(3)台秤和天平:称量10 kg,分度值5 g;称量5000 g,分度值1 g;称量1000 g,分度值0.5 g;称量500 g,分度值0.1 g;称量200 g,分度值0.01 g。

(4)环刀:内径61.8 mm和79.8 mm,高20 mm;内径61.8 mm,高40 mm。

(5)击样器。

(6)压样器。

(7)抽气设备:应附真空表和真空缸。

(8)其他:包括切土刀、钢丝锯、橡皮板、木碾、保湿缸、喷水设备等。

1.3 扰动土试样制备

1. 开样

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、土类及均匀程度进行描述。

2. 风干

根据试验项目取足够数量的土样(表1-1),置于通风处晾干至可碾散为止。

3. 碾散

将风干的土样放在橡皮板上用木碾碾散。

4. 过筛

将碾散后的土样根据各试验项目的要求进行过筛，见表 1-1。如对界限含水率等物理性试验，过 0.5 mm 筛；对直剪、固结等力学性试验，过 2 mm 筛；等。对含细粒土的砾质土，应先用水浸泡并充分搅拌，使粗、细颗粒分离后按不同试验项目的要求进行过筛。

表 1-1 试样取样数量和过筛标准

试验项目	土 样 数 量				过筛标准 /mm
	粘 土		砂 土		
	原状土(筒) ϕ 10cm × 20cm	扰动土 /g	原状土(筒) ϕ 10cm × 20cm	扰动土 /g	
含水率		800		500	
密度	1		1		
土粒比重		800		500	5
颗粒分析		800		500	
界限含水率		500			0.5
击实		小击实筒 > 20 000 大击实筒 > 50 000			5、20、40
渗透	1	1000		2000	2
固结	1	2000			2
直接剪切	1	2000			2
三轴压缩	2	5000		5000	2

5. 取样

用“四分法”来选取有代表性的土样，方法如下：将土样拌匀，倒在水平面上，用直尺把土样摊成厚 2 cm 左右的一个圆饼状，然后用直尺画两条相互垂直的直线，将土样分成四等份，取走对角的两份，把剩余的两份再拌匀。重复上述步骤，直至剩下的土样约等于需要的量为止，见图 1-1。取足够试验用的土样，充分拌匀，测定风干含水率，装入保湿缸或塑料袋内备用。

6. 配制湿土样

称取一定量的过筛风干土样，平铺于搪瓷盘内，将水均匀喷洒于土样上，所需的加水量应按式(1-1)计算，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。测定润湿土样不同位置处的含水率，取点应不少于两点，含水率差值不大于 1%。

7. 称量湿土样

根据环刀容积和所需的干密度，称取制样所需的湿土量，湿土量应按式(1-2)

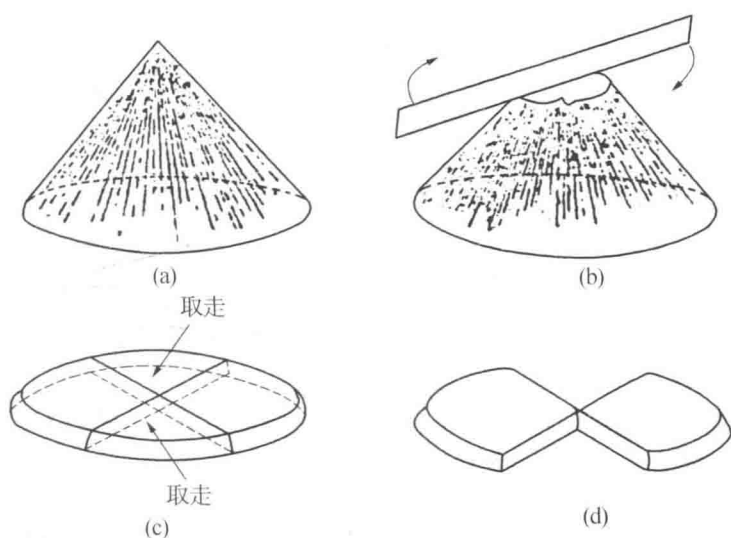


图 1-1 四分法示意图

计算。

8. 制备环刀样

扰动土试样的制备，视工程实际情况，分别采用击样法和压样法。

(1) 击样法：将称量好的湿土样倒入装有环刀的击样器内，击实到所需的密度。

(2) 压样法：将称量好的湿土样倒入装有环刀的压样器内，以静力通过活塞将土样压紧到所需密度。

试样的数量视试验需要而定，一般应多制备 1~2 个备用，同一组试样的密度差值不得大于 0.01 g/cm^3 。根据试验要求，确定土样是否需要饱和。对不需要饱和且不立即进行试验的试样，应存放在保湿器内备用。

1.4 原状土试样制备

1. 开样

将土样筒按标明的上下方向放置，剥去蜡封和胶带，小心开启土样筒将土样取出或用推土器将土样推出。观察土样的颜色、气味、层次、夹杂物、均匀性等情况，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，不应制备力学性质试验的试样。

2. 切取环刀样

根据试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。同时，测定环刀两端削下土样的含水率。同一组试样的密度差值不得大于 0.03 g/cm^3 ，含水率差值不得大于 1%。视试样本身及工程要求，决定试样是否进行饱和，如不立即进行试验，则将试样暂存放于保湿器内。

3. 剩余土样

切取试样后剩余的原状土样,应用密封袋包好置于保湿器内,以备补做试验之用;从切削的余土中取代表性试样进行土粒比重、颗粒分析、界限含水率等试验。

1.5 试样饱和

土的孔隙逐渐被水填充的过程称为饱和,当土中孔隙全部被水充满时,该土称为饱和土。对需要饱和的试样,视土的性质选用浸水饱和法、毛细管饱和法或抽气饱和法处理。

(1)对于砂土等粗粒土,可直接在仪器内浸水饱和。

(2)渗透系数 $> 10^{-4} \text{cm/s}$ 的细粒土,采用毛细管饱和法。步骤如下:

①选用框式饱和器(见图 1-2),试样上、下面放滤纸和透水板,装入饱和器内,通过框架两端的螺丝将透水板和环刀夹紧。

②将装有试样的饱和器放入水箱内,注入清水,水面不宜超过试样,使土中气体得以排出。

③关上箱盖,防止水分蒸发,借土的毛细管作用使试样饱和,一般需 2~3d。

④取出饱和器,松开螺丝,取出环刀,擦干外壁,吸去表面积水,取下试样上下滤纸,称环刀和试样总质量,并按公式(1-3)计算试样的饱和度。当饱和度低于 95% 时,应将环刀再装入饱和器,浸入水中延长饱和时间。

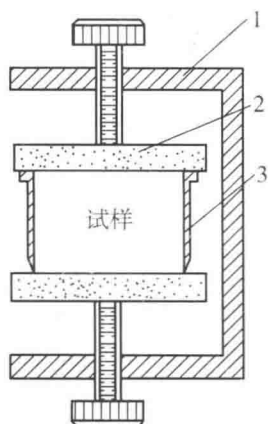


图 1-2 框式饱和器

1—框架; 2—透水板; 3—环刀

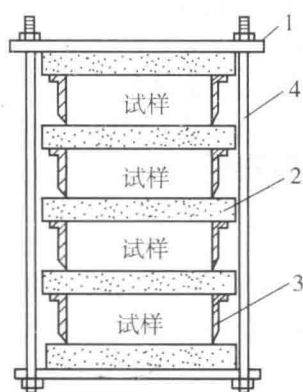


图 1-3 叠式饱和器

1—夹板; 2—透水板; 3—环刀; 4—拉杆

(3)渗透系数 $\leq 10^{-4} \text{cm/s}$ 的细粒土,采用抽气饱和法。步骤如下:

①选用框式或叠式饱和器(见图 1-3)。在叠式饱和器下夹板的正中,依次放置透水板、滤纸、带试样的环刀、滤纸、透水板,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,拧紧拉杆上端的螺丝,将各个环刀在上下夹板间夹紧。

②将装有试样的饱和器放入真空缸内(见图 1-4),真空缸和盖之间涂一薄层凡士林,盖上缸盖。

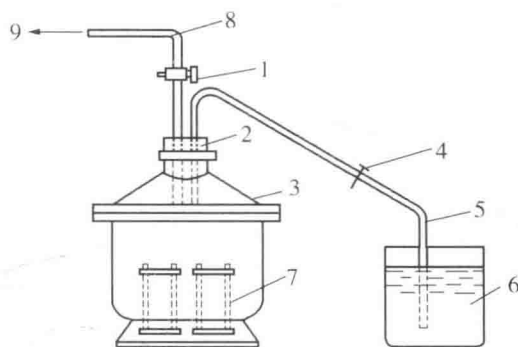


图 1-4 真空饱和装置

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

③关管夹、开三通阀，将真空缸与抽气机接通，启动抽气机，抽除缸内及土中气体，当真空表达到约 1 个大气负压力值后，继续抽气约 1h（粉质土约 0.5h），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，应调节管夹，使真空压力表读数保持不变。

④待水淹没饱和器后停止抽气。将引水管自水缸中提出，开管夹使空气进入真空缸内，静置一段时间（细粒土宜为 10h），借大气压力，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，擦干外壁，称环刀和试样总质量，并按公式(1-3)计算试样的饱和度。当饱和度低于 95% 时，应继续抽气饱和。

1.6 试验计算

(1) 根据试验所需的土量与含水率，制备试样所需的加水量，应按下式计算：

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

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。

(2) 根据环刀容积及所需的干密度，制备试样所需的湿土量，应按下式计算：

$$m_0 = (1 + w_0) \rho_d V \quad (1-2)$$

式中 m_0 ——制备试样所需的湿土量，g；

w_0 ——试样的含水率；

ρ_d ——试样的干密度，g/cm³；

V ——试样体积（环刀容积），cm³。

(3) 试样的饱和度，应按下式计算：

$$S_r = \frac{(\rho_{sr} - \rho_d) G_s}{\rho_d \cdot e} \quad \text{或} \quad S_r = \frac{w_{sr} G_s}{e} \quad (1-3)$$

式中 S_r ——试样的饱和度；
 w_{sr} ——试样饱和后的含水率；
 ρ_{sr} ——试样饱和后的密度， g/cm^3 ；
 G_s ——土粒比重；
 e ——试样的孔隙比。

思考题

1. 为什么要统一试样制备及饱和程序？
2. 什么是原状土？什么是扰动土？
3. 碾散土样为什么要在橡胶板上用木碾碾散？

第2章 含水率试验

2.1 试验目的

土的含水率是试样在 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量时所失去的水质量与达恒量后干土质量的比值，以百分数表示。

试验目的：测定土的含水率。若为了了解全土层综合而概略的天然含水率，可沿土层剖面竖向切取土样，拌和均匀测定其含水率；如果是配合压缩、抗剪强度、渗透试验，应在切取试样环刀的上下两面选取土样；这样测得含水率的结果可能由于土样层次不均有所差异，但有助于了解土层的真实情况和对试验结果的分析。

2.2 试验方法和适用范围(见表 2-1)

表 2-1 试验方法和适用范围

试验方法	适用范围
烘干法	粗粒土、细粒土、有机质土
酒精燃烧法	快速简易测定细粒土(含有机质的土除外)的含水率
比重法	砂类土

注：烘干法为室内试验的标准方法，本章只介绍烘干法和酒精燃烧法。

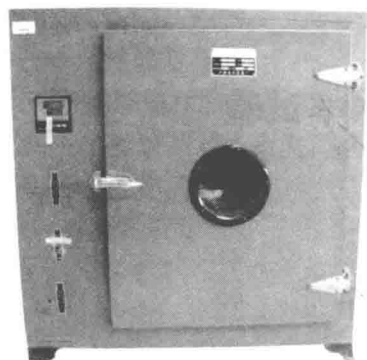
2.3 烘干法

1. 仪器设备

- (1)烘箱：应能控制温度为 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 。
- (2)天平：称量 200g ，分度值 0.01g 。
- (3)其他：称量盒、干燥器(内置硅胶、氯化钙等干燥剂)，见图 2-1。

2. 试验步骤

- (1)称取称量盒的质量 m_1 ，精确至 0.01g 。
- (2)取代表性试样(细粒土 $15 \sim 30\text{g}$ ，有机质土、砂类土约 50g)，放入称量盒内，



(a) 烘箱



(b) 电子天平



(c) 称量盒



(d) 干燥器

图 2-1 烘干法常用仪器设备。

立即盖上盒盖，称盒加湿土质量 m_2 ，精确至 0.01 g。

(3) 打开盒盖，将盒置于烘箱内，在 105 ~ 110℃ 的恒温下烘至恒量。烘干时间对黏土、粉土等细粒土不得少于 8h，对砂类土不得少于 6h，对含有石膏、附着水结合力弱的矿物或者有机质含量超过干土质量 5% 的土，应将温度控制在 65 ~ 70℃ 的恒温下烘至恒量。

(4) 将称量盒从烘箱中取出，立即盖上盒盖，放入干燥器内冷却至室温，称盒加干土质量 m_3 ，精确至 0.01 g。

3. 注意事项

- (1) 取样后应立即盖好盒盖并称取质量，以免水分蒸发。
- (2) 从烘箱中取出试样后，应立即盖好盒盖，以免干燥土样吸收空气中的水分。
- (3) 使用称量盒时，要确保盒盖和盒身的编号一致。
- (4) 烘干试样应在干燥环境下冷却后再称量，以免损坏天平及影响数据的准确性。
- (5) 湿土样放入烘箱前，须先将烘箱内已烘干的土样拿出，以防其水分被干土所吸收。

2.4 酒精燃烧法

1. 仪器设备

- (1)天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。
- (2)酒精：纯度 95%。
- (3)其他：滴管、火柴、调土刀。

2. 试验步骤

- (1)称取称量盒的质量 m_1 ，精确至 0.01 g。
- (2)取代表性试样(粘质土 5 ~ 10 g，砂质土 20 ~ 30 g)，放入称量盒内，立即盖上盒盖，称盒加湿土质量 m_2 ，精确至 0.01 g。
- (3)打开盒盖，用滴管将酒精注入放有试样的称量盒内，直至盒中出现自由液面为止。将盒底在桌面上轻轻敲击，使酒精在试样中充分混合均匀。
- (4)点燃盒中酒精，燃至火焰熄灭。
- (5)将试样冷却数分钟，重复上述过程燃烧酒精两次。当第三次火焰熄灭后，立即盖好盒盖，称盒加干土质量 m_3 ，精确至 0.01 g。

3. 注意事项

- (1)酒精燃烧接近熄灭时，火焰呈暗蓝色，经常误以为燃烧完毕，这时添加酒精非常危险。应等火焰完全熄灭，冷却几分钟后再次滴加酒精。
- (2)土样经过一次燃烧后会分散开，滴加酒精前应轻轻敲击盒底，以便土样与酒精充分混合。

2.5 含水率计算

(1)试样的含水率，应按下式计算：

$$w_0 = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 w_0 ——含水率，精确至 0.1%；

m_1 ——称量盒质量，g；

m_2 ——盒加湿土质量，g；

m_3 ——盒加干土质量，g。

(2)本试验需进行两次平行测定，测定的差值应符合表 2-2 的规定，取两个测值的平均值，以百分数表示。