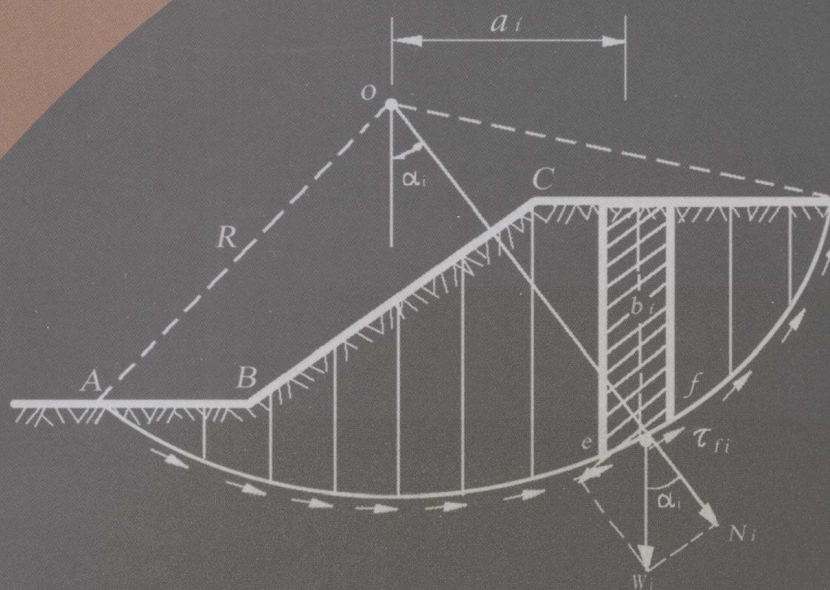


道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

土力学与基础工程试验指导书

TULIXUE YU JICHU GONGCHENG SHIYAN ZHIDAO SHU

胡 森 田国芝 主编



黄河水利出版社

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

土力学与基础工程试验指导书

田国芝 主编

黄河水利出版社

目 录

第一章 试样的制备与饱和	(1)
第一节 试样的制备	(1)
第二节 试样的饱和	(3)
第二章 土的物理性质试验	(5)
第一节 含水量试验	(5)
第二节 密度试验	(9)
第三节 比重试验	(14)
第四节 颗粒分析试验	(18)
第五节 砂的相对密度试验	(25)
第六节 界限含水量试验	(28)
第三章 土的力学性质试验	(31)
第一节 击实试验	(31)
第二节 固结试验	(34)
第三节 土的抗剪强度试验	(40)
第四章 土质与土力学试验报告	(50)
试验一 土的含水量(率)试验	(50)
试验二 土的密度试验	(52)
试验三 土的比重试验	(55)
试验四 筛析法	(57)
试验五 液塑限联合测定试验	(59)
试验六 击实试验	(61)
试验七 固结试验	(63)
试验八 直接剪切试验	(66)

第一章 试样的制备与饱和

第一节 试样的制备

试样的制备是获得一定条件下的试验结果的前提,为保证试验结果的可靠性以及试验数据的可比性,应具备统一的试样制备方法和程序。试样的制备可分为原状土试样的制备和扰动土试样的制备。

一、试样制备所需的主要仪器设备

- (1) 细筛:孔径 0.5 mm、2 mm 和 5 mm。
- (2) 洗筛:孔径 0.075 mm。
- (3) 台秤和天平:称量 10 kg 时最小分度值 5 g,称量 5 kg 时最小分度值 1 g,称量 1 kg 时最小分度值 0.5 g,称量 0.5 kg 时最小分度值 0.1 g,称量 0.2 kg 时最小分度值 0.01 g。
- (4) 环刀:不锈钢材料制成,型号有内径 61.8 mm 高 20 mm、内径 79.8 mm 高 20 mm、内径 61.8 mm 高 40 mm。
- (5) 击样器:如图 1-1 所示。
- (6) 压样器:如图 1-2 所示。
- (7) 其他:包括切土刀、钢丝锯、碎土工具、烘箱。

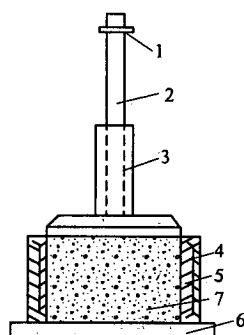


图 1-1 击样器

- 1—定位环;2—导杆;3—击锤;
- 4—击样筒;5—环刀;6—底座;
- 7—试样

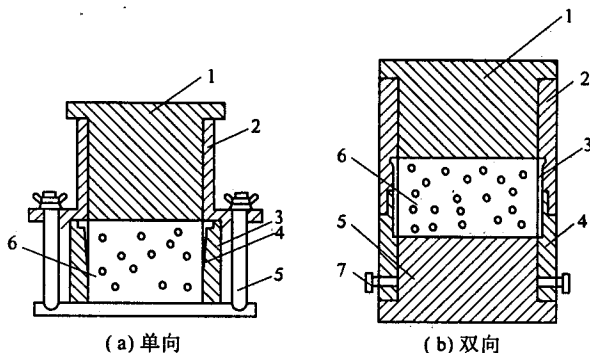


图 1-2 压样器

- 1—上活塞;2—上导筒;3—环刀;4—下导筒;
- 5—下活塞;6—试样;7—销钉

二、原状土试样的制备步骤

- (1) 按土样筒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,不应制备力学性质试验的试样。

(2)根据试样要求用环刀切取土样时,在环刀内壁涂一薄层凡士林,刀口向下放在土样上,将环刀垂直向下压,同时用切土刀沿环刀外侧切削土样,边压边削直至土样高出环刀。

(3)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,称刀和土样的总质量。

(4)从余土中取代表性试样;以测定含水量及比重、颗粒分析、界限含水量等试验之用。

切削过程中的注意事项如下:

(1)应细心观察并记录试件的层次、气味、颜色,有无杂质,土质是否均匀,有无裂缝等。同一组试样间密度的允许差值不得大于 0.03 g/cm^3 。

(2)如连续切取数个试件,应注意使含水量不发生变化。

(3)视试件本身及工程要求,决定试件是否进行饱和,如不立即进行试验或饱和,则将试件暂存于保湿器内。

(4)切取试件后,剩余的原状土样用蜡纸包好置于保湿器内,以备补做试验之用。

三、扰动土试样和试样制备

(一)扰动土试样的备样步骤

(1)将土样从土样筒或包装袋中取出,对土样的颜色、土类、气味及夹杂物等进行描述,如有需要,将土样切成碎块,拌和拌匀;取代表性土样进行含水量测定。

(2)将块状扰动土放在橡皮板上,用木碾或粉碎机碾散,但切勿压碎颗粒,如含水量较大不能碾散,应风干至可碾散时为止。

(3)根据试验所需土样数量,将碾散后的土样过筛,物理性试验如液限、塑限、缩限等试验,需过 0.5 mm 筛;力学试验土样,过 2 mm 筛;击实试验土样,过 5 mm 筛。对于含细粒土的砾质土,应先用水浸泡并充分搅拌,使粗细颗粒分离后,再按不同试验项目的要求进行过筛。

(二)扰动土样试样的制备程序

(1)将碾散的风干土样通过孔径 2 mm 或 5 mm 的筛,取筛下足够试样用的土样(试样的数量视试验项目而定,应有备用试样 $1 \sim 2$ 个),充分拌匀,测定风干含水量,装入保湿或塑料袋内备用。

(2)根据环刀容积及要求的干密度,按式(1-1)计算试样制备所需的风干土质量:

$$m_0 = (1 + 0.01\omega_0)\rho_d V \quad (1-1)$$

式中 m_0 ——制备试样所需的风干含水量时的土样质量, g ;

ω_0 ——风干含水量, %;

ρ_d ——试样所要求的干密度, g/cm^3 ;

V ——试样体积, cm^3 。

(3)根据试验所需的土量与含水量,制备试样所需的加水量应按式计算:

$$m_w = \frac{m_0}{1 + 0.01\omega_0} \times 0.01(\omega_1 - \omega_0) \quad (1-2)$$

式中 m_w ——制备试样所需要的加水量, g;

ω_1 ——试样所要求的含水量, %;

其他符号意义同式(1-1)。

(4) 称取过筛的风干土样平铺于搪瓷盘内, 根据式(1-2)计算得到的加水量, 用量筒量取, 并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。

(5) 测定润湿土样不同位置处的含水量, 不应少于两点, 一组试样的含水量与要求的含水量之差不得超过 $\pm 1\%$ 。

(6) 扰动土试样的制备, 可采用击样法、压样法和击实法。

击样法: 根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土, 倒入装有环刀的击样器内, 击实到所需密度, 然后取出环刀。

压样法: 根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土, 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所需密度, 然后取出环刀。

击实法: 采用击实仪, 将土样击实到所需的密度, 用推土器推出, 然后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, 边压边削, 直至土样伸出环刀为止, 削去两端余土并修平。

(7) 擦净环刀外壁, 称环刀和试样总质量, 准确至 0.1 g, 同一组试样的密度与要求的密度之差不得大于 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

(8) 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。

第二节 试样的饱和

土的孔隙逐渐被水填充的过程称为土的饱和, 当土中孔隙全部被水充满时, 该土被称为饱和土。

根据土样的透水性能, 试样的饱和可分别采用浸水饱和法、毛细管饱和法和真空抽气饱和法三种方法。

(1) 粗粒土: 采用直接在仪器内对试样进行浸水饱和的方法。

(2) 细粒土(渗透系数大于 10^{-4} cm/s): 采用毛细管饱和法。

(3) 细粒土(渗透系数小于或等于 10^{-4} cm/s): 采用真空抽气饱和法。

一、毛细管饱和法

(1) 选用框式饱和器, 如图 1-3 所示, 在装有试样的环刀上、下分别放滤纸和透水板, 一起装入饱和器内, 并通过框架两端的螺丝将透水板、环刀夹紧。

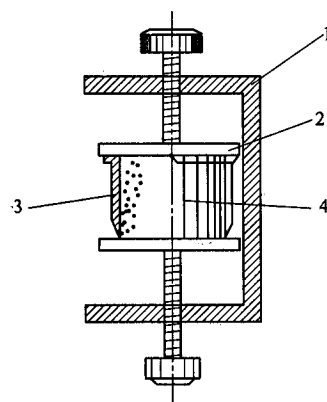


图 1-3 框式饱和器

1—框架; 2—透水板; 3—环刀; 4—试样

*(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,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0.1 g,并计算试样的饱和度,当饱和度低于95%时,应继续饱和。

二、真空抽气饱和法

(1)选用重叠式或框式饱和器和真空饱和装置,如图1-4、图1-5所示。在重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,拧紧拉杆上端的螺母,将各个环刀在上、下夹板间夹紧。

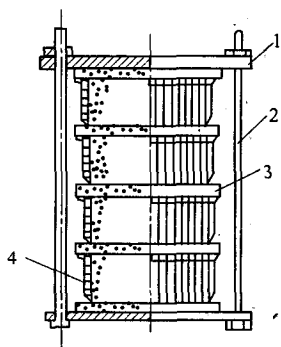


图1-4 重叠式饱和器

1—夹板;2—拉杆;3—透水板;4—环刀

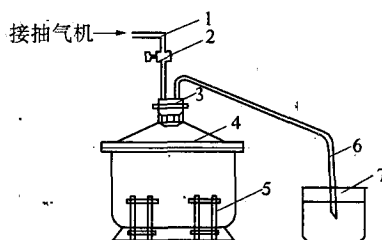


图1-5 真空饱和装置

1—排气管;2—三通阀;3—橡皮塞;4—真空缸;
5—饱和器;6—引水管;7—水箱

(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,以防漏气。

(3)将真空缸与抽气机接通,启动抽气机,当真空压力表计数接近当地一个大气压力值后,继续抽气不少于1 h,然后微开管夹,使清水由引水管徐徐注入真空缸内。在注入过程中,微调管夹,以使真空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10 h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。

第二章 土的物理性质试验

第一节 含水量试验

一、基本知识

土的含水量 ω 是指土在 105 ~ 110 °C 温度下烘到恒重时所失去的水质量与达到恒重后干土质量的比值,以百分数表示。

含水量是土的基本物理性质指标之一,它反映了土的干、湿状态。含水量的变化将使土物理力学性质发生一系列的变化,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。含水量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,也是建筑物地基、路堤、土坝等施工质量控制的重要指标。

含水量试验方法有烘干法、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。

二、烘干法

烘干法是将试样放在温度能保持 105 ~ 110 °C 的烘箱中烘至恒重的方法,是室内测定含水量的标准方法。

(一) 仪器设备

(1) 保持温度为 105 ~ 110 °C 的自动控制电热恒温烘箱或沸水烘箱、红外烘箱、微波炉等其他能源烘箱。

(2) 称量 200 g、最小分度值 0.01 g 的天平。

(3) 装有干燥剂的玻璃干燥缸。

(4) 恒质量的铝制称量盒。

(二) 操作步骤

(1) 从土样中选取具有代表性的试样 15 ~ 30 g (有机质土、砂类土和整体状构造冻土为 50 g), 放入称量盒内, 立即盖上盒盖, 称盒加湿土质量, 精确至 0.01 g。

(2) 打开盒盖, 将试样和盒一起放入烘箱内, 在 105 ~ 110 °C 温度下烘至恒重。试样烘至恒重的时间, 对于黏土和粉土宜烘 8 ~ 10 h, 对于砂土宜烘 6 ~ 8 h。对于有机质超过干土质量 5% 的土, 应将温度控制在 65 ~ 70 °C 的恒温下进行烘干。

(3) 将烘干后的试样和盒从烘箱中取出, 盖上盒盖, 放入干燥器内冷却至室温 (一般 0.5 ~ 1 h)。

(4) 将试样和盒从干燥器内取出, 称盒加干土质量, 精确至 0.01 g。

按式(2-1)计算含水量:

式中 ω ——含水量, %, 精确至 0.1 %;

m_1 ——称量盒加湿土质量,g;

m_2 ——称量盒加干土质量,g;

m_0 ——称量盒质量, g。

烘干法试验应对两个试样进行平行测定,并取两个含水量测值的算术平均值。当含水量小于40%时,允许的平行测定差值为1%;当含水量等于或大于40%时,允许的平行测定差值为2%。

(四) 试验记录

烘干法测含水量的试验记录见表 2-1。

表 2-1 含水量试验记录表(烘干法或酒精燃烧法)

工程名称: _____

试验者: _____

工程编号: _____

计算者:_____

试验日期:_____

校核者:_____

[illegible]

三、酒精燃烧法

酒精燃烧法是将试样和酒精拌和,点燃酒精,随着酒精的燃烧使试样水分蒸发的方法。酒精燃烧法是快速、简易且较准确测定细粒土含水量的一种方法,适用于没有烘箱或土样较少的情况。

(一) 仪器设备

(1)恒质量的铝制称量盒。

(2)称量 200 g、最小分度值 0.01 g 的天平。

(3)纯度 95% 的酒精。

(4)滴管、火柴和调土刀等。

(二)操作步骤

(1)从土样中选取具有代表性的试样(黏性土 5 ~ 10 g,砂性土 20 ~ 30 g),放入称量盒内,立即盖上盒盖,称盒加湿土质量,精确至 0.01 g。

(2)打开盒盖,用滴管将酒精注入放有试样的称量盒中,直至盒中出现自由液面为止,并使酒精在试样中充分混合均匀。

(3)将盒中酒精点燃,并烧至火焰自然熄灭。

(4)将试样冷却数分钟后,按上述方法再重复燃烧两次,当第三次火焰熄灭后,立即盖上盒盖,称盒加干土质量,精确至 0.01 g。

(三)成果整理

酒精燃烧法试验同样应对两个试样进行平行测定,其含水量计算见式(2-1),含水量允许平行差值与烘干法相同。

(四)试验记录

酒精燃烧法测含水量的试验记录与烘干法相同,见表 2-1。

四、比重法

比重法适用于砂类土,是通过测定湿土体积,估计土粒比重,从而间接计算土的含水量的方法。

(一)仪器设备

(1)容积在 500 mL 以上的玻璃瓶。

(2)称量 1 000 g、最小分度值 0.5 g 的天平。

(3)漏斗、小勺、吸水球、玻璃片、土样盘及玻璃棒等。

(二)操作步骤

(1)选取具有代表性的砂类土试样 200 ~ 300 g,放入土样盘中。

(2)向玻璃瓶中注入清水至刻度的 1/3 左右,然后通过漏斗将土样盘中的试样全部倒入玻璃瓶内,并用玻璃棒搅拌 1 ~ 2 min,直到试样内所含气体完全排出为止。

(3)向玻璃瓶中加清水至瓶内容积全部充满,静置 1 min 后用吸水球吸去瓶中泡沫,然后再加清水至瓶内容积全部充满,盖上玻璃片,将瓶外壁擦干,称盛满混合液的玻璃瓶质量,精确至 0.5 g。

(4)将玻璃瓶中的混合液全部倒去,并将玻璃瓶洗干净,然后再向玻璃瓶中加清水至瓶内容积全部充满,盖上玻璃片,将瓶外壁擦干,称盛满清水的玻璃瓶质量,准确至 0.5 g。

(三)成果整理

按式(2-2)计算含水量:

$$\omega = \left[\frac{m(G_s - 1)}{G_s(m_1 - m_2)} - 1 \right] \times 100\% \quad (2-2)$$

式中 ω ——含水量,%,精确至 0.1%;

m ——湿土质量, g;
 m_1 ——瓶、水、土、玻璃片质量, g;
 m_2 ——瓶、水、玻璃片质量, g;
 G_s ——土的比重。

比重法试验应对两个试样进行平行测定, 并取其算术平均值。

(四) 试验记录

比重法测含水量的试验记录见表 2-2。

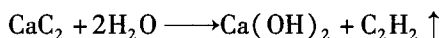
表 2-2 含水量试验记录表(比重法)

工程名称: _____			试验者: _____						
工程编号: _____			计算者: _____						
试验日期: _____			校核者: _____						
试样 编号	土样 说明	瓶号	湿土 质量 (g)	瓶、水、土、 玻璃片质量 (g)	瓶、水、 玻璃片质量 (g)	土粒 比重	含水量 (%)	平均 含水量 (%)	备注
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
							$\left\{ \frac{(1)[(4) - 1]}{(4)[(2) - (3)]} - 1 \right\}$ $\times 100$		

五、碳化钙气压法

碳化钙气压法是公路上快速简易测定土的含水量的方法, 适用于路基土和稳定土。

碳化钙气压法的试验原理是将试样中的水分与碳化钙吸水剂发生化学反应, 产生乙炔气体, 其化学方程式为:



从以上的化学方程式可以看出, 乙炔(C_2H_2)的数量与土中水分的数量有关, 乙炔气体所产生的压力强度与土中水分的质量成正比, 通过测定乙炔气体的压力强度, 并与烘干法进行对比; 从而可得出试样的含水量。

(一) 仪器设备

(1) 碳化钙气压含水量测定仪: 如图 2-1 所示, 由主体罐、紧固螺钉、弓形紧固架、罐盖、垫圈、过滤器和含水量指示表组成, 其中含水量指示表是与烘干法进行对比标定试验由乙炔气体压力表转换而得的。仪器分大小两种型号, HKC-200 型主要用于粒径小于 400 mm 砂砾含水量的测定, HKC-30 型则主要用于路基土和稳定土含水量的测定。

(2) 称量 200 g、最小分度值 0.1 g 的天平。

(3) 纯度 80.66% 的碳化钙吸水剂, 粒度在 3 mm 以下, 发气量为 1 kg 碳化钙产生 300 L 乙炔气。

*(4)手动摇晃架、粉碎球、毛刷、小勺等。

(二)操作步骤

(1)选取具有代表性的试样,对于 HKC - 200 型仪器,称取试样 200 g;对于 HKC - 30 型仪器,称取试样 30 g。

(2)将试样倒入主体罐内,同时将两个粉碎球也放入罐内。

(3)将定量吸水剂放入仪器盖中,对于 HKC - 200 型仪器,放 6 平勺吸水剂,对于 HKC - 30 型仪器,放 2 平勺吸水剂。

(4)拧紧螺栓,双手紧握仪器摇动,使试样与粉碎剂沿罐的侧壁转动,砂砾土一般摇动 20 次,黏性土适当增加摇动次数,再使表盘向上再往下来回翻动数次,测读表中指针所指的即为含水量值,然后再使表盘向下,并静放 0.5 ~ 1 min,若表中指针不再转动,即可读数,若表中指针还未稳定,再按上述方法进行第二次、第三次混合,直到表中指针稳定为止。一般砂砾土 1 ~ 2 次即可,黏性土约需 3 次。

(三)成果整理

在碳化钙气压法试验中,土的含水量由含水量指示表读得,该表盘是与烘干法进行对比标定试验后由乙炔气体压力表盘转换而得的。碳化钙气压法试验应对两个试样进行平行测定,并取其算术平均值。

(四)试验记录

碳化钙气压法测含水量的试验记录见表 2-3。

表 2-3 含水量试验记录表(碳化钙气压法)

工程名称: _____ 试验者: _____
 工程编号: _____ 计算者: _____
 试验日期: _____ 校核者: _____

试样编号	土样说明	仪器型号	吸水剂质量 (g)	试样质量 (g)	表盘读数	含水量 (%)	平均含水量 (%)	备注

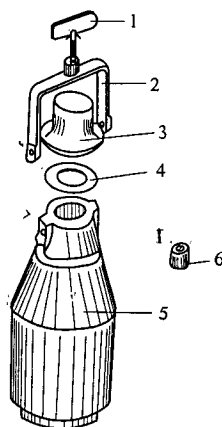


图 2-1 碳化钙气压含水量测定仪结构

1—紧固螺钉;2—弓形紧固架;3—罐盖;
4—垫圈;5—主体罐;6—过滤器

第二节 密度试验

一、基本知识

土的密度 ρ 是指土的单位体积质量,是土的基本物理性质指标之一,其单位为 g/cm^3 。

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。

土的密度一般是指土的湿密度 ρ ,除此以外还有土的干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 和有效密度 ρ' 。

密度试验方法有环刀法、蜡封法、灌水法和灌砂法等。对于细粒土,宜采用环刀法;对于易碎裂、难以切削的土,可用蜡封法;对于现场粗粒土,可用灌水法或灌砂法。

二、环刀法

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

(一) 仪器设备

- (1) 环刀。
- (2) 称量 500 g、最小分度值 0.1 g 的天平。
- (3) 切土刀、钢丝锯、毛玻璃和圆玻璃片等。

(二) 试验内容及步骤

(1) 按工程需要取原状土或人工制备所要求的扰动土样,其直径和高度应大于环刀的尺寸,整平两端放在玻璃板上。

(2) 在环刀内壁涂一薄层凡士林,将环刀的刀刃向下放在土样上面,然后用手将环刀垂直下压,边压边削,至土样上端伸出环刀为止,根据试样的软硬程度,采用钢丝锯或修土刀将两端余土削去修平,并及时在两端盖上圆玻璃片,以免水分蒸发。

(3) 擦净环刀外壁,拿去圆玻璃片,然后称取环刀加土质量,准确至 0.1 g。

(三) 成果整理

按下式分别计算湿密度和干密度:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (2-3)$$

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

式中 ρ ——湿密度, g/cm^3 , 精确至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;

ρ_d ——干密度, g/cm^3 , 精确至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;

m ——湿土质量, g;

V ——环刀容积, cm^3 ;

m_2 ——环刀加湿土质量, g;

m_1 ——环刀质量, g;

ω ——含水量, %。

环刀法试验应进行两次平行测定,两次测定的密度差值不得大于 $0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$,并取其两次测值的算术平均值。

(四) 试验记录

试验记录见表 2-4。

表 2-4 密度试验记录表(环刀法)

试样 编号	环刀 号	环刀加湿 土质量 (g)	环刀质量 (g)	湿土质量 (g)	环刀容积 (cm ³)	湿密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	平均干 密度 (g/cm ³)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
				(1) - (2)		$\frac{(3)}{(4)}$		$\frac{(5)}{1 + (6) \times 0.01}$	

三、蜡封法

蜡封法又称浮称法,此法是将不规则的土样称其自然质量后,浸入熔化的石蜡中,使土样被石蜡所包裹,而后称其在空气中重与在水中重,并计算土样密度。此法所得密度值较其他方法大,这是因为在任何情况下都难以避免熔蜡浸入土内孔隙中。

(一) 仪器设备

(1) 熔蜡加热器。

(2) 天平:称量 200 g,最小分度值 0.01 g。

(3) 烧杯、细线、石蜡、针、削土刀等。

(二) 试验步骤

(1) 用削土刀切取体积大于 30 cm³ 的试件,削除试件表面的松、浮土以及尖锐棱角,在天平上称量,精确至 0.01 g。

(2) 将石蜡加热至刚过熔点,用细线系住试件浸入石蜡中,使试件表面覆盖一薄层严密的石蜡,若试件蜡膜上有气泡,需用热针刺破气泡,再用石蜡填充针孔,涂平孔口。

(3) 待冷却后,将蜡封试件在天平上称量,精确至 0.01 g。

(4) 用细线将蜡封试件置于天平一端,使其浸浮在盛有蒸馏水的烧杯中,注意试件不要接触烧杯壁,称蜡封试件的水下质量,精确至 0.01 g,并测量纯水的温度。

(5) 将蜡封试件从水中取出,擦干石蜡表面水分,在空气中再称其质量,将其与步骤(3)中所称质量相比,若质量增加,表示水分进入试件中,应另取试样重做。

(三) 结果整理

按式(2-5)计算湿密度:

$$\rho = \frac{m}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{水}}} - \frac{m_1 - m}{\rho_{\text{水}}}} \quad (2-5)$$

式中 ρ ——土的湿密度, g/cm³, 精确至 0.01 g/cm³;

m ——试件质量, g;

m_1 ——蜡封试件质量, g;

m_2 ——蜡封试件在水中质量, g;

ρ_{wt} ——蒸馏水在 t °C 时密度, g/cm^3 , 精确至 $0.001 \text{ g}/\text{cm}^3$;

ρ_n ——石蜡密度, g/cm^3 (应事先实测, 精确至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$, 一般可采用 $0.92 \text{ g}/\text{cm}^3$)。

四、现场密度测定

对含有碎砾石的土层或人工填土层无法用环刀取样, 则可在现场测点挖一测坑。挖的同时测其挖出土石的质量和含水量, 挖出土石的质量一般不少于 300 kg 。对不规则的试坑体积测量, 可用不透水的薄膜袋放在坑内, 然后向袋中灌水并测所灌水的体积, 按定义计算土的密度。也可按灌砂法测定体积。下面介绍灌砂法。

(一) 仪器设备

(1) 密度测定器: 由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成, 如图 2-2 所示。

(2) 称量 10 kg 、最小分度值 5 g 的台秤, 称量 500 g 、最小分度值 0.1 g 的天平。

(3) 铁镐、铁铲、水准尺等。

(二) 操作步骤

1. 标准砂密度测定

(1) 选用粒径为 $0.25 \sim 0.50 \text{ mm}$ 的标准砂, 这是因为在此粒径范围内的标准砂, 其密度变化较小。标准砂应清洗干净, 并放置足够的时间, 以使其与空气的湿度达到平衡。

(2) 按图 2-2 组装容砂瓶和灌砂漏斗, 容砂瓶与灌砂漏斗之间的螺纹接头应旋紧, 然后称容砂瓶和灌砂漏斗的质量。

(3) 将密度测定器竖立, 并使灌砂漏斗口向上, 关闭位于灌砂漏斗尾部的阀门, 然后向灌砂漏斗内注满标准砂, 再打开阀门, 使灌砂漏斗内的标准砂流入容砂瓶内, 继续向漏斗内灌注标准砂并使标准砂流入容砂瓶内, 当砂停止流动时, 迅速关闭阀门, 倒去漏斗内多余的砂, 称容砂瓶、灌砂漏斗和标准砂的总质量, 准确至 5 g 。

(4) 打开阀门, 倒出容砂瓶内的全部标准砂, 再测定容砂瓶的体积。将密度测定器竖立, 并使灌砂漏斗口向上, 通过漏斗向容砂瓶内注水至水面高出阀门, 然后关闭阀门, 并倒掉漏斗中多余的水, 称容砂瓶、漏斗和水的总质量, 准确至 5 g , 并测定水温, 准确至 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。容砂瓶体积的测定需重复三次, 三次测值之间的差值不得大于 3 mL , 并取三次测值的平均值。

(5) 标准砂密度的计算。容砂瓶容积用式(2-6)计算, 标准砂密度按式(2-7)计算:

$$V_r = \frac{m_{r2} - m_{r1}}{\rho_{wr}} \quad (2-6)$$

$$\rho_s = \frac{m_{rs} - m_{r1}}{V_r} \quad (2-7)$$

式中 V_r ——容砂瓶容积, mL ;

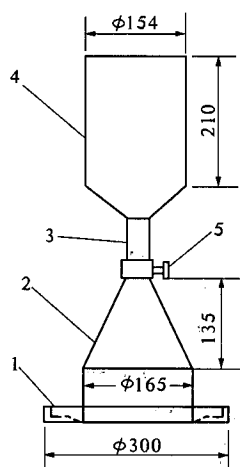


图 2-2 密度测定器

(尺寸单位: mm)

1—底盘; 2—灌砂漏斗;
3—螺纹接头; 4—容砂瓶;
5—阀门

$\bar{m}_{12}$ ——容砂瓶、漏斗和水的总质量, g;
 m_{r1} ——容砂瓶和漏斗的质量, g;
 ρ_{wr} ——不同水温时水的密度, g/cm³;
 ρ_s ——标准砂的密度, g/cm³;
 m_{rs} ——容砂瓶、漏斗和标准砂的总质量, g。

2. 密度测定

(1) 根据试样的最大粒径确定试坑尺寸的大小, 见表 2-5。

表 2-5 灌砂法试坑尺寸

试样最大粒径 (mm)	试坑尺寸(mm)	
	直径	深度
5 ~ 20	150	200
40	200	250
60	250	300
200	800	1 000

(2) 选定试坑位置, 并将试坑位置处的地面整平, 地表的浮土、石块、杂物等应予以清除, 而凹凸不平处则用砂铺平, 地面整平的范围应略大于试坑直径的范围, 并用水准尺检查试坑处地表是否水平。

(3) 按确定的试坑直径画出试坑口的轮廓线, 在轮廓线内挖至要求的深度, 边挖边将坑内的试样装入盛土容器内, 称试样质量, 精确到 10 g, 并从挖出的全部试样中取有代表性的样品, 测定其含水量。

(4) 通过灌砂漏斗向容砂瓶内注满标准砂, 倒去漏斗内多余的砂, 称容砂瓶、灌砂漏斗和标准砂的总质量, 准确至 5 g。

(5) 将密度测定器容砂瓶向上、漏斗向下倒置于挖好的试坑口上, 然后打开阀门, 使砂注入到试坑内, 注意在注砂过程中不能有震动。当砂注满试坑时, 迅速关闭阀门, 取走密度测定器, 称容砂瓶、灌砂漏斗和余砂的总质量, 准确至 5 g。

(三) 成果整理

按式(2-8)计算湿密度:

$$\rho = \frac{m_p}{m_s} \rho_s \quad (2-8)$$

式中 ρ ——湿密度, g/cm³, 精确至 0.01 g/cm³;

m_p ——试坑内取出的全部试样的质量, g;

m_s ——注满试坑所用标准砂的质量, g;

ρ_s ——标准砂密度, g/cm³。

按式(2-9)计算干密度:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01\omega} \quad (2-9)$$

式中 ρ_d ——干密度, g/cm³, 精确至 0.01 g/cm³;

ω ——含水量, %。

(四) 试验记录

试验记录见表 2-6。

表 2-6 测密度的试验记录表(灌砂法)

工程名称: _____

试验者: _____

工程编号: _____

计算者: _____

试验日期: _____

校核者: _____

试坑 编号	量砂容 器加原 有量砂 质量 (g)	量砂容 器加剩 余量砂 质量 (g)	试坑用 砂质量 (g)	量砂 密度 (g/cm ³)	试坑 体积 (cm ³)	试样加 容器 质量 (g)	容器 质量 (g)	试样 质量 (g)	湿密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	试样 干密度 (g/cm ³)	试样 容重 (kN/m ³)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
			(1) - (2)		$\frac{(3)}{(4)}$			(6) - (7)	$\frac{(8)}{(5)}$		$\frac{(9)}{1 + 0.01 \times (10)}$	9.81 × (9)

第三节 比重试验

一、基本内容

土的比重是土在 105 ~ 110 ℃ 温度下烘至恒重时的质量与同体积 4 ℃ 蒸馏水质量的比值。在数值上,土的比重与土粒密度相同,但前者是没有单位的。

土的比重主要取决于土的矿物成分,不同土类的比重变化幅度不大。对于一般土,砂土的比重为 2.65 ~ 2.69,砂质粉土比重约为 2.70,黏质粉土比重约为 2.71,粉质黏土的比重为 2.72 ~ 2.73,黏土比重为 2.74 ~ 2.76。

根据土粒粒径的不同,土的比重试验可分别采用比重瓶法、浮称法或虹吸筒法。

二、比重瓶法

比重瓶法是将称好质量的干土放入盛满水的比重瓶,根据前后质量差异,计算土粒的体积,从而进一步计算出土粒的比重。此方法适用于粒径小于 5 mm 的土。

(一) 仪器设备

(1) 比重瓶:容量 100(或 50) mL,有长颈和短颈两种形式。