

目 录

第 1 章 绪 论	1
第 2 章 试样制备与饱和	4
第 3 章 含水率试验	11
第 4 章 密度试验	22
第 5 章 击实试验	33
第 6 章 土的比重试验	45
第 7 章 颗粒分析试验	55
第 8 章 界限含水率试验	72
第 9 章 无侧限抗压强度试验	81
第 10 章 土的承载比(CBR)试验	88
第 11 章 粗粒土和巨粒土的最大干密度试验	99
第 12 章 水泥或石灰稳定土中水泥或石灰剂量的测定方法	1066
第 13 章 路基混合材料配合比设计简介	1111
第 14 章 有机质含量试验	1122
第 15 章 易溶盐总量的测定--质量法	1166

第1章 绪 论

一、土工试验的对象和作用

土工试验是对土的工程性质进行测试,并获得土的物理性指标(如密度、含水率、土粒比重等)和力学性指标(如压缩模量、抗剪强度指标等)的实验工作,从而为工程设计和施工提供可靠的参数,它是正确评价工程地质条件不可缺少的前提和依据。

土是自然界的产物,其形成过程、物质成分以及工程特性是极为复杂的,并且随其受力状态、应力历史、加载速率和排水条件等的不同而变得更加复杂。

所以,在进行各类工程项目设计和施工之前,必须对工程项目所在场地的土体进行土工试验,以充分了解和掌握土的各种物理和力学性质,从而为场地岩土工程地质条件的正确评价提供必要的依据。因此,土工试验是各类工程建设项目中首先必须解决的问题。

无论是地面上的高层建筑、重型厂房、高速公路和机场,还是地面下的铁路、车库和隧道等,这些工程建设项目都与它们赖以存在的土体有着密切的关系。各类工程的成败,在很大程度上取决于土体能否提供足够的承载力,取决于工程结构不至于遭受超过设计限度的地基沉降和差异变形等,而地基承载力确定和地基变形计算中的参数又主要是由土工试验来确定的,由此可见,土工试验对于各类工程项目建设的成功与否是至关重要的。

从土力学的发展历史及过程来看,从某种意义上也可以说土力学是土的实验力学,如库伦(Coulomb)定律、达西(Darcy)定律、普洛特(Proctor)压实理论以及描述土的应力—应变关系的双曲线模型等,无一不是通过对土的各种试验而建立起来的。

因此,土工试验又为土力学理论的发展提供依据,即使在计算机及计算技术高度发达的今天,可以把土的复杂的弹塑性应力—应变关系纳入到岩土工程的变形与稳定计算中去,但是土的工程性质的正确测定对于这些计算模型的建立以及模型中参数的确定仍然是一个关键问题。所以,土工试验在土力学的发展过程中占有相当重要的地位。

采用原位测试方法对土的工程性质进行测定,较之室内土工试验具有不少优点,原位测试方法可以避免钻孔取土时对土的扰动和取土卸荷时土样回弹等对试验结果的影响,试验结果可以直接反映原位土层的物理状态,某些不易采取原状土样的土层(如深层的砂),只能采用原位测试的方法。

但在进行原位测试时,其边界条件较为复杂,在计算分析时,有时还需作不少假定方能进行,如十字板剪切试验结果整理中的竖向和水平向抗剪强度相等的假定等,并且有些指标还不能原位测试直接测定,如应力路径、时间效应及应变速率等对土的性状的影响。

室内土工试验由于能进行各种模拟控制试验以及进行全过程和全方位的量测和观察,在某种程度上反而能满足土的计算或研究的要求。因此,室内土工试验又是原位测试所代替不了的。

任何试验都有其一定的局限性,土工试验一样也有其局限性。其实,当土样从钻孔中取出时,就已产生两种效应使该土样偏离了实际情况,一是取土、搬运及试验切土时的机械作用扰动了土的结构,降低了土的强度;二是改变了土的应力条件,土样产生回弹膨胀。这两种效应统称为扰动,扰动使试验指标不符合原位土体的工程性状。除此以外,试样的数量也是非常有限的,一层土一般只能取几个或十几个试样,试样总体积与其所代表的土层体积相比,相差悬殊;同时,土还是各向

异性的，在垂直方向上与在水平方向上，其性质指标是不相同的。而室内土工试验的应力条件是相对理想和单一化的，如固结试验是在完全侧限条件下进行的，三轴压缩试验也仅是轴对称的，这些条件均与实际土层的受力条件不尽相符。因此，土工试验有一定的局限性，另外，土工试验成果因试验方法和试验技巧熟练程度的不同，也可能会有较大差别，这种差别在某种程度上甚至大于计算方法所引起的误差。

二、土工试验项目

室内土工试验大致可以分为五类：土的物理性质试验，土的力学性质试验，土的水理性质试验，土的动力性质试验和土的特殊性质试验。

土的物理性质试验，包括土的含水率试验、密度试验、比重试验、颗粒分析试验、界限含水率试验(液限、塑限和缩限试验)、相对密度试验(最小干密度试验和最大干密度试验)等。

土的力学性质试验，包括土的固结试验、抗剪强度试验、击实试验、静止侧压力系数 K 。试验等。

土的水理性质试验，包括土的渗透试验、湿化试验等。

土的动力性质试验，包括土的振动三轴试验、共振柱试验、动单剪试验等。

土的特殊性质试验，包括黄土湿陷试验、膨胀率试验、膨胀力试验、收缩试验、有机质试验等。

表 0-1 室内土工试验的主要项目名称和方法

种类	试验项目	主要试验方法
土的物理性质试验	含水率试验	烘干法, 酒精燃烧法, 比重法, 碳化钙气压法, 炒干法
	密度试验	环刀法, 蜡封法, 灌水法, 灌砂法
	土粒比重试验	比重瓶法, 浮称法, 虹吸筒法
	液限试验	圆锥仪法, 碟式仪法, 联合测定法
	塑限试验	滚搓法, 联合测定法
	颗粒分析试验	筛分法, 密度计(比重计)法, 移液管法
	相对密度试验	最小干密度(最大孔隙比)试验: 漏斗法和量筒法; 最大干密度(最小孔隙比)试验: 振动锤击法
土的力学性质试验	固结(压缩)试验	标准固结试验, 快速固结试验, 应变控制连续加荷固结试验
	击实试验	轻型击实试验, 重型击实试验
	直接剪切试验	慢剪试验, 固结快剪试验, 快剪试验, 反复剪试验
	三轴压缩	不固结不排水剪试验; 固结不排水剪试验, 固结排水剪试验; 一个试样多级加荷试验
	无侧限抗压强度	原状土试验, 重塑土试验
	静止侧压力系数试验	K ₀ 容器
	加州承载比试验	在φ152mm 承载比试样筒内作贯入
土的水理性质试验	渗透试验	常水头法; 变水头法
	湿化试验	浮筒法
土的动力性质试验	振动三轴	动强度(液化)试验, 动弹性模量和阻尼比试验
	共振柱试验	稳态强迫振动法, 自由振动法
	动单剪试验	纯剪法
土的特殊性质试验	黄土湿陷试验	湿陷系数试验, 自重湿陷系数试验, 溶滤变形系数试验, 湿陷起始压力试验
	自由膨胀率试验	水中自由膨胀
	膨胀率试验	无荷载膨胀率试验, 有荷载膨胀率试验
	膨胀力试验	加荷平衡法
	收缩试验	室温收缩
	酸碱度(pH)值试验	电测法, 比色法
	易溶盐试验	易溶盐、中溶盐、难溶盐的总量测定用烘干法, 各离子含量测定用化学分析法
	有机质试验	重铬酸钾容量法, 烧灼减量法

第 2 章 试样制备与饱和

一、试样制备

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

土样在试验前必须经过制备程序，扰动土的土样制备包括土的风干、碾散、过筛、匀土、分样和贮存等预备程序和击实、饱和等试样制备程序。原状土的土样制备包括开启、描述、切取等。

这些步骤的正确与否，都直接影响试验成果的可靠性。

土样制备程序视需要的试验而异，所以在土样制备前应拟定土工试验计划。

对密封的原状土样除小心搬运和妥善存放外，在试验前不应开启，试验前如需要进行土样鉴别和分类必须开启时，则在检验后，应迅速妥善封好贮藏，尽量使土样少受扰动。

(一)试验方法适用

本试验方法适用于颗粒粒径小于 60mm 的原状土和扰动土。

(二)要求

根据力学性试验项目要求，同一组原状土试样间密度的允许差值为 0.03g/cm^3 ；对扰动土样为了控制试样的均匀性，减少试验数据的离散性，一般用含水率和密度作为控制指标，不仅规定各试样间的允许误差，还要规定每个试样的密度、含水率的允许误差。所以规定同一组试样的密度与要求制备的密度之差不得大于 $\pm 0.02\text{g/cm}^3$ ；一组试样的含水率与要求制备的含水率之差不得大于 $\pm 1\%$ 。

(三)仪器设备

试样制备所需的主要仪器设备，应符合下列规定：

- 1 细筛：孔径 0.5mm、2mm。
- 2 洗筛：孔径 0.075mm。
- 3 台秤和天平：称量 10kg，最小分度值 5g；称量 5000g，最小分度值 1g；称量 1000g，最小分度值 0.5g；称量 500g，最小分度值 0.1g；称量 200g，最小分度值 0.01g。
- 4 环刀：不锈钢材料制成，内径 61.8mm 和 79.8mm，高 20mm；内径 61.8mm，高 40mm。
- 5 击样器：如图 1-1 所示。

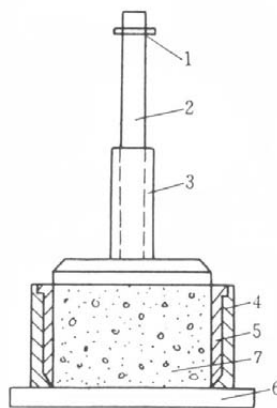
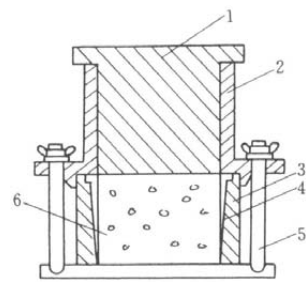


图 1-1 击样器

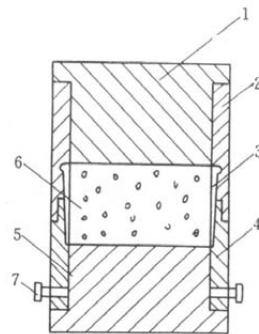
- 1-定位环；2-导杆；3-击锤；4-击样筒；
5-环刀；6-底座；7-试样

6 压样器：如图 1-2 所示。



(a) 单向

1-活塞；2-导筒；3-护环；4-环刀；5-拉杆；6-试样



(b) 双向

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

图 1-2 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、碎土工具、烘箱、保湿缸、喷水设备等。

④土样的要求与管理

采样数量应满足试验项目和试验方法的需要，采样的数量按表 1 规定采取，并应附取土记录及土样现场描述。

表 1 试验取样数量和过土筛标准

土类	粘土		砂土		过筛标准
	原状土(筒)	扰动土	原状土(筒)	扰动土	
试验项目	$\phi 10\text{cm}\times 20\text{cm}$	g	$\phi 10\text{cm}\times 20\text{cm}$	g	mm
含水率		800		500	
比重		800		500	
颗粒分析		800		500	
界限含水率		500			0.5
密度	1		1		
固结	1	2000			2.0
黄土湿陷	1				
三轴压缩		5000		5000	2.0
膨胀、收缩	2	2000		8000	2.0
直接剪切	1	2000			2.0
击实 承载比		轻型>15000 重型>30000			5.0
无侧限抗压强度	1				
反复直剪	1	2000			2.0
相对密度				2000	
渗透	1	1000		2000	2.0
化学分析		300			2.0
离心含水当量		300			0.5

根据试验所需土样数量，将碾散的土样过筛。物理性试验土样过 0.5mm 筛；力学性试验土样过 2mm 筛；击实试验土样过 5mm 筛。

过筛后用四分法取样，方法如下：将土样拌匀，倒在纸上成圆锥形[图 1-3(a)]，然后用尺以圆锥顶点为中心，向一定方向旋转[图 1-3(b)]，使圆锥成为 1~2cm 厚的圆饼状。继而用尺划两条相互垂直的直线，使土样分成四等份，取走相同的两份[图 1-3(c)，图 1-3(d)]，将剩下的两份样拌匀；重复上述步骤，直到剩下的土样约等于需要量为止。

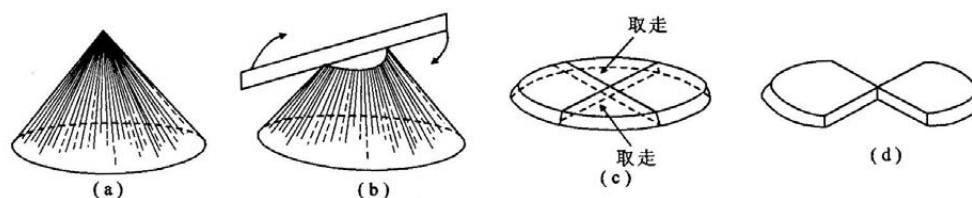


图 1-3 四分法图解

取出足够数量的代表性土样，分别装入保湿缸或塑料袋内备用，标以标签(写明工程名称、土样编号、过筛孔径、用途、制备日期和试验人员等)。

对风干土应测定风干含水率。

对碾散后的粘质土样和砂质土样进行过筛，筛孔大小取决于试验所用仪器的容器大小。

根据已有的试验研究表明：用于直剪试验的土样最大颗粒粒径不应大于剪切盒内径的 1/20(剪切盒内径为 61.8 mm)，土样需过 2mm 筛；

对无侧限、三轴压缩试验的土样最大颗粒粒径与试样直径的比值为 1/8~1/12。目前国内三轴试验一般采用 39.1、61.8、101mm，其试样的允许最大粒径为 2、5、10mm。

对固结试验的土样最大颗粒粒径为容器高度的 1/6~1/8，国内固结仪容器的高度为 20mm，用过 2mm 筛的土样是可以的，鉴于粒径 2mm 为砂粒的上限，所以土样制备中统一规定扰动土样过 2mm 筛进行试样制备。

对轻型击实试验的土样过 5mm 筛，重型击实试验的土样，用五层击实过 20mm 筛，而三层击实过 40mm 筛。

对砂和砂砾土用分砂器或四分法细分土样，取代表性土样进行颗粒分析试验，其余过 5mm 筛，分别供比重及最大、最小孔隙比试验用，取部分过 2mm 筛的试样供力学性试验。

(四)原状土试样制备

原状土试样制备，应按下列步骤进行：

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，不应制备力学性质试验的试样。

2 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。

用环刀切取试样时，要防止扰动，否则会影响测试结果。视试样本身及工程要求，决定试样是否进行饱和，如不立即进行试验和饱和时，将试样暂存于保湿缸内。

3 从余土中取代表性试样测定含水率。比重、颗粒分析、界限含水率等项试验的取样，应按扰动土试样的备样规定进行。

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。

(五)扰动土试样的备样

扰动土试样的备样，应按下列步骤进行：

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 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、界限含水率试验。对非均质土应根据试验项目取足够数量的土样，置于通风处凉干至可碾散为止。对砂土和进行比重试验的土样宜在 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。

3 将风干或烘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)。

4 对分散后的粗粒土和细粒土，应按表 1 的要求过筛。

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。

(六)扰动土试样的制样

扰动土试样的制样，应按下列步骤进行：

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，取代表性土样测定含水率。将块状扰动土放在橡皮板上用木碾碾散，或用碎土机碾散。如果土样含水率较大，可先风干至易碾散为止。

2 试样的数量视试验项目而定，应有备用试样 1~2 个。

3 将碾散的风干土样通过孔径 2mm 或 5mm 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 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式计算：

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

式中 m_w - 制备试样所需要的加水量(g)；

m_0 - 原土质量(g)；

w_0 - 原土含水率(%)；

w_1 - 制样要求的含水率(%)。

5 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。

6 测定润湿土样不同位置处的含水率，不应少于两点，含水率差值应符合试样制备要求的规定。

7 根据环刀容积及所需的干密度，制样所需的湿土量应按式计算：

$$m_0 = (1 + 0.01w_0) \rho_d V \quad (3.1.6-2)$$

式中 ρ_d - 试样的干密度(g/cm³)；

V - 试样体积(环刀容积)(cm³)。

8 扰动土制样可采用击样法和压样法。

1) 击样法：将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。

2) 压样法：将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，以静压力通过活塞将土样压紧到所需密度。

9 取出带有试样的环刀，称环刀和试样总质量，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。

10 注意事项

对于扰动土试样的制备，以往通常用击实法将土样击实后再切成试样，这样做往往因分层击实，试样上、下密度不一致及土体结构情况不好。若采用击实法，要求以单层击实为佳。

试样制备方法对抗剪强度的影响随土质情况、饱和方法及初始含水率等条件而变化。试样制备龄期会对抗剪强度有影响，但试样一经压密，此影响即消失，故在实际中可忽略不计。

击样和压样两种方法对密度影响不大，显然不同的制样方法，对于土的力学性质有着不同的影响。粘性大的土，压样时空气不易排出，以致密度不十分均匀，为此，在各使用单位有形式不一的压样器，有的活塞有排气孔，有的带透水石，有的采用上下活塞两面压样等，总之，制备试样的方法应当用与击实试验相近似的击实方法。击样法可以控制锤击的击实高度，这样比较易于控制试样的密度。

二、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。试样饱和方法宜根据土样的透水性能分别采用以下方法。

(一) 试样饱和方法

试样饱和宜根据土样的透水性能，分别采用下列方法：

1 粗粒土采用浸水饱和法。

2 渗透系数大于 10^{-4}cm/s 的细粒土,采用毛细管饱和法;渗透系数小于、等于 10^{-4}cm/s 的细粒土,采用抽气饱和法。

(二)毛细管饱和法

毛细管饱和法,应按下列步骤进行:

1 选用框式饱和器(图 1-3b),试样上、下面放滤纸和透水板,装入饱和器内,并旋紧螺母。

2 将装好的饱和器放入水箱内,注入清水,水面不宜将试样淹没,关箱盖,浸水时间不得少于两昼夜,使试样充分饱和。

3 取出饱和器,松开螺母,取出环刀,擦干外壁,称环刀和试样的总质量,并计算试样的饱和度。当饱和度低于 95%时,应继续饱和。

(三)抽气饱和法

抽气饱和法,应按下列步骤进行:

1 选用叠式或框式饱和器(图 1-3 和真空饱和装置(图 1-4)。

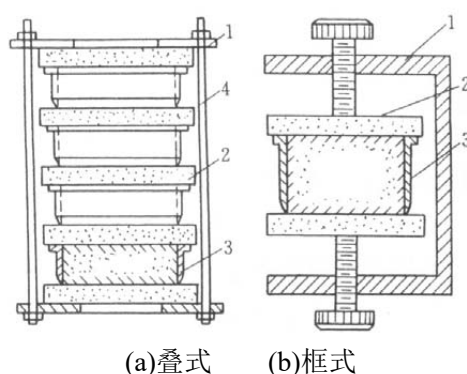


图 1-3 饱和器

1-夹板; 2-透水板; 3-环刀; 4-拉杆

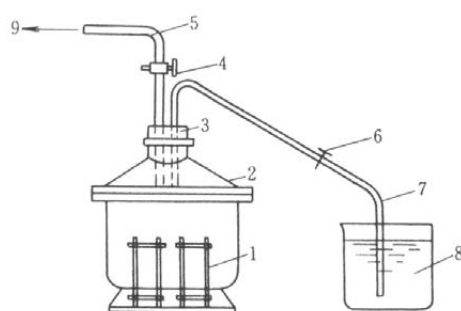


图 1-4 真空饱和装置

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

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,拧紧拉杆上端的螺母,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,真空缸和盖之间涂一薄层凡士林,盖紧。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时(抽气时间不少于 1h),微开管夹,使清水徐徐注入真空缸,在注水过程中,真空压力表读数宜保持不变。

3 待水淹没饱和器后停止抽气。开管夹使空气进入真空缸，静止一段时间，细粒土宜为 10h，使试样充分饱和。

4 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，并计算饱和度(见试样的饱和度)。当饱和度低于 95%时，应继续抽气饱和。

5 饱和度的大小，对渗透试验、固结试验和剪切试验的成果均有影响。对于不测孔隙水压力的试验，一般认为：饱和度大于 95%即认为饱和。对于需要测定孔隙水压力参数的试验，如三轴压缩试验，应变控制加荷固结试验，对饱和度的要求较高($S_r=99\%$ 以上)，宜采用二氧化碳或反压力饱和方法。

④其他饱和方法

1.二氧化碳饱和试样是近年来发展的一种方法。由于二氧化碳比空气重且易溶于水，从试样底部注入二氧化碳后，试样孔隙中的空气逐渐从试样顶端排出。二氧化碳是气体，用一种气体驱赶另一种气体，不会出现气泡阻滞现象。又因二氧化碳在水中的溶解度远比空气大(一个大气压力下， 0°C 时， 1cm^3 水可溶解空气 0.029cm^3 ，可溶解二氧化碳 1.71cm^3)，因而，当试样孔隙充满二氧化碳后，用水头饱和法和饱和时，试样孔隙中的二氧化碳气泡很快溶于水成碳酸，继续水头饱和时，又可以成为一种液体(水)驱赶另一种液体(稀碳酸)，最后使试样孔隙中充满纯净水，达到饱和的目的。

2.反压力饱和：对试样施加反压力以使试样饱和已成为一种常用的饱和方法。反压力饱和是人为地在试样内增加孔隙水压力，使试样内的孔隙气体在压力作用下完全溶解于水中，在增大孔隙水压力的同时，等量地对试样增加周围压力，以保证作用于试样的有效压力或试样的内外应力差不变。这个在孔隙水和压力室液体中同时作用的力即为反压力。对试样施加反压力的大小与起始饱和度有关。当起始饱和度过低时，即使施加很大的反压力，也不一定能使试样饱和。为此，当试样起始饱和度低时，应先进行抽气饱和，然后再施加反压力，使试样完全饱和。

第 3 章 含水率试验

一、概述

长期以来,在岩土工程领域中将含水率和含水量两个意义不同的名词相互混淆,统称含水量。实际上含水量应该是土体中所含的水量,单位为克(g)。而含水率的定义是试样在 105~110℃温度下烘至恒量时所失去的水质量和恒量后干土质量的比值,以百分率表示。计算公式如下:

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

式中 w_0 -试样含水率(%);

m_d -干土质量(g);

m_0 -湿土质量(g)。

国家标准中采用含水率这个名词更符合定义。国际上也有国家用含水比的,它的意义是与含水率相似。含水率是土的基本物理性指标之一。它反映土的状态,含水率的变化将使土的一系列物理力学性质随之而异。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。因此,土的含水率是研究土的物理力学性质必不可少的一项指标。同时,土的含水率也是土工建筑物施工质量控制的依据。

二、试验方法

测定含水率的方法多种多样,如烘干法、酒精燃烧法、炒干法、比重法、实容积法、微波法和核子射线法等等。

(一)烘干法:将试样放入温度能保持在 105~110℃的电烘箱中烘至恒值,是测定含水率的通用标准方法。该法精度高,试验简便,结果稳定。故此法为室内测定含水率的标准方法,列入国家标准。在野外无烘箱设备或要求快速测定含水率,则可根据土的性质和工程情况分别采用下列方法。

(二)酒精燃烧法:在试样中加入酒精,利用酒精在试样上燃烧,使土中水分蒸发,将土烤干是快速测定法中较准确的一种,适用于没有烘箱或土样较少的情况。由于此法难以控制 105~110℃的恒温条件,与定义不完全符合,故一般在现场使用,或者在制备试样时测定风干土样的含水率,供制样参考。酒精燃烧法测得的含水率略低于烘干法所测的含水率。

(三)炒干法:用火炉或电炉将试样炒干,在炒干过程中,随时翻拌试样,至试样表面完全干燥。此法适用于砂性土及含砾较多的土,在工地使用。此法也不符合定义所规定的 105~110℃,炒干法温度在 100~150℃,所测的含水率略大于烘干法。

(四)比重法:该法是根据比重试验,测定湿土体积,估计土粒比重,间接计算土的含水率。由于试验时没有考虑温度的影响,所测得的结果准确度较差。土内气体能否充分排出,直接影响试验结果的精度,故此法仅适用于砂性土。

(五)实容积法:根据波义尔~马略特定律设计的速测含水率仪。它是通过测定土中固相和液相的体积,取土的经验比重值,换算出土的含水率。该法的原理是波义尔~马略特定律,首先要求气温基本保持不变,这在填筑工地上是很难达到的。若以标准温度为 20℃,那么气温变化±1℃,实容积的变化就达到 5%,相应含水率的变化也约 5%,为此,目前很少使用。

(六)微波法：微波加热是近十几年来才发展的一门新技术。微波是一种超高频的电磁波。

微波加热就是通过微波发生器产生微波能，然后用波导(传送线)将微波能输送到微波加热器中，加热器中的试样受到微波的照射后就发热，使水分蒸发。由于微波具有一定的穿透深度，使被加热物体里外同时加热，因此具有均匀、快速的优点。显然，快速干燥工艺在土工试验中具有重要的意义。但微波加热的温度如何控制，烘干时间采用多长等，都是有待进一步研究的。美国于 1998 年将此列入 ASTM 标准。

(七)核子射线法：利用核子法测定土石等材料原位密度和含水率是一项迅速发展的无损、快速检测新技术。目前我国已有相当数量各类进口的和国产的核子水分密度仪在各类工程中使用，并成为质量检测和控制在一种重要工具。水利部已制定核子水分密度仪现场测试规程。用表层型核子水分密度仪测定材料密度和含水率是一种间接的物理测量方法。其测量依据是仪器所记录到的 γ 射线或热中子计数率分别与被测材料密度和含水率有确定的相关性。通过预先建立适合仪器进行密度或水分测量的标定曲线，则可根据仪器现场测量所记录的 γ 射线或热中子计数率，按相对应的标定曲线，确定被测材料的密度或含水率。

深层型核子水分~密度仪利用探棒通过钻孔或测量导管放至地面下预定深度，分别用 γ 射线散射法和快中子被氢原子慢化法测定材料原位密度和含水率变化。

三、《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019

1、试验方法适用

土的有机质含量不宜大于干土质量的 5%，当土中有机质含量为 5%~10%时，仍允许采用本标准进行试验，但应注明有机质含量

2、仪器设备及环境

天平：称量 200g，分度值 0.01g；

台秤：称量 5000g，分度 值 1g。

烘箱：能控制温度在 105℃~110℃。

铝盒：大小适当。

料盘：大小适当。

环境：在室内常温条件下进行。

3、试验步骤

含水率试验，应按下列步骤进行：

(1) 取有代表性试样:细粒土 15g~30g,砂类土 50g~100g,砂砾石 2kg~5kg。将试样放入称量盒内,立即盖好盒盖,称量,细粒土、砂类土称量应准确至 0.01g,砂砾石称量应准确至 1g。当使用恒质量盒时,可先将其放置在电子天平或电子台秤上清零,再称量装有试样的恒质量盒,称量结果即为湿土质量。

(2) 揭开盒盖,将试样和盒放入烘箱,在 105℃~110℃下烘到恒量。烘干时间,对黏质土,不得少于 8h;对砂类土,不得少于 6h;对有机质含量为 5%~10%的土,应将烘干温度控制在 65℃~70℃的恒温下烘至恒量;

(3) 将烘干后的试样和盒取出，盖好盒盖放入干燥器内冷却至室温,称干土质量。

4、含水率计算

试样的含水率，应按下式计算，准确至 0.1%。

$$w_0 = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (4.0.4)$$

式中 m_d -干土质量(g);

m_0 -湿土质量(g)。

(3) 误差要求

本试验应进行两次平行测定，取其算术平均值，最大允许平行差值应符合下表：

表 5.2.4 含水率测定的最大允许平行差值(%)

含水率 w	最大允许平行差值
<10	±0.5
10~40	±1.0
>40	±2.0

6、含水率试验的记录格式

表 D-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 _____

试样编号	盒号	盒质量(g)	盒加湿土质量(g)	盒加干土质量(g)	湿土质量(g)	干土质量(g)	含水率(%)	平均含水率(%)

、

四、《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51-2009

(一) T 0801—2009 含水量试验方法(烘干法)

本方法源自原规程 T0801—1994，增加了关于水泥、石灰、粉煤灰含水率测定的内容，同时主要改变了对称量仪器的技术要求。对于有机质土尽量采用烘干法，并酌情降低烘箱温度。

1 适用范围

本方法适用于测定水泥、石灰、粉煤灰及无机结合料稳定材料的含水率。

2 仪器设备

2.1 水泥、粉煤灰、生石灰粉、消石灰和消石灰粉、稳定细粒土

2.1.1 烘箱：量程不小于 110℃，控温精度为±2℃。

2.1.2 铝盒：直径约 50mm，高 25~30mm。

2.1.3 电子天平：量程不小于 150g，感量 0.01g。

电子天平是新一代的天平，它利用电子装置进行电磁力补偿的调节，使物体在重力场中实现力

的平衡，或通过电磁力矩的调节使物体在重力场中实现力矩的平衡，通过设定的程序，可实现自动调零、自动校正、自动去皮、自动显示称量结果或将称量结果经接口直接输出。

电子天平的优点在于它在加入荷载后能迅速地平衡，并自动显示所称物体的质量，单次样品的称量时间大大缩短，其独具的“去皮”功能使其称量更为简便、快速。

使用电子天平注意事项：

①由于电子天平自重较轻，使用中容易因碰撞而发生位移，进而可能造成水平改变，故使用过程中动作要轻。

②电子天平还有一些其他的功能键，有些是供维修人员调校用的，一般不要使用这些功能键。

③如被称试样或容器上的静电影响称量(读数不稳定)，则应用防静电称盘代替一般称盘。

④按使用说明书要求进行通电预热一定时间后再进行称量。

2.1.4 干燥器：直径 200~250mm，并用硅胶做干燥剂^①。

注①：用指示硅胶做干燥剂，而不用氯化钙。因为许多黏土烘干后能从氯化钙中吸收水分。

2.2 稳定中粒土

2.2.1 烘箱：同 2.1.1。

2.2.2 铝盒：能放样品 500g 以上。

2.2.3 电子天平：量程不小于 1000g，感量 0.1g。

由于当前称量设备的精度较高，在试验室中使用广泛，为了提高试验过程中的测试精度，此次修订将原规程中针对台秤的措施予以删除，对称量要求在 4 000g 以内的，统一采用感量为 0.01g 的电子天平；对称量要求在 4 000g 以上的，统一采用感量为 0.1g 的电子天平。考虑到当前大量试验室还沿用原规程中的仪器，对中粒土和粗粒土的测试天平感量放宽到 0.1g，在满足精度要求的条件下，原有仪器还可以使用。但鼓励相关单位采用相对高精度的天平测量，以减少试验误差。

2.2.4 干燥器：同 2.1.4。

2.3 稳定粗粒土

2.3.1 烘箱：同 2.1-1。

2.3.2 大铝盒：能放样品 2000g 以上。

2.3.3 电子天平：量程不小于 3000g，感量 0.1g。

2.3.4 干燥器：同 2.1.4。

3 试验步骤

3.1 水泥、粉煤灰、生石灰粉、消石灰和消石灰粉、稳定细粒土

3.1.1 取清洁干燥的铝盒，称其质量 m_1 ，并精确至 0.01g；取约 50g 试样(对生石灰粉、消石灰和消石灰粉取 100g)经手工木锤粉碎后松放在铝盒中，应尽快盖上盒盖，尽量避免水分散失，称其质量 m_2 ，并精确至 0.01g。

3.1.2 对于水泥稳定材料，将烘箱温度调到 110℃；对于其他材料^①，将烘箱调到 105℃。待烘箱达到设定的温度后，取下盒盖，并将盛有试样的铝盒放在盒盖上，然后一起放入烘箱中进行烘干，需要的烘干时间随试样种类和试样数量而改变。当冷却试样连续两次称量的差(每次间隔 4h)不超过原试样质量的 0.1%^②时，即认为样品已烘干。

注①：某些含有石膏的土在烘干时会损失其结晶水，用此方法测定对其含水率有影响。每 1%

石膏对含水率的影响约为 0.2%。如果土中有石膏，则试样应该在不超过 80℃ 的温度下烘干，并可能要烘更长的时间。

注②：对于大多数土，通常烘干 16~24h 就足够了。但是，某些土或试样数量过多或试样很潮湿，可能需要烘更长的时间。烘干的时间也与烘箱内试样的总质量、烘箱的尺寸及其通风系统的效率有关。

水泥与水拌和就要发生水化作用，在较高温度下水化作用发生得较快。如先将混合料放入烘箱中，再启动烘箱升温，则在升温过程中水泥与水的水化作用发生得较快。而烘干法又不能除去已与水泥发生水化作用的水，这样得出的含水率往往偏小。所以应提前将烘箱升温到 110℃，使含水泥的混合料一开始就能在 110℃ 的环境下进行烘干。

3.1.3 烘干后，从烘箱中取出盛有试样的铝盒，并将盒盖盖紧。

3.1.4 将盛有烘干试样的铝盒放入干燥器内冷却^③。然后称铝盒和烘干试样的质量 m_3 ，并精确至 0.01g。

注③：如铝盒的盖密闭，而且试样在称量前放置时间较短，则可以不放在干燥器中冷却。

3.2 稳定中粒土

3.2.1 取清洁干燥的铝盒，称其质量 m_1 ，并精确至 0.1g。取 500g 试样(至少 300g)经粉碎后松放在铝盒中，盖上盒盖，称其质量 m_2 ，并精确至 0.1g。

3.2.2 对于水泥稳定材料，将烘箱温度调到 110℃；对于其他材料，将烘箱调到 105℃。待烘箱达到设定的温度后，取下盒盖，并将盛有试样的铝盒放在盒盖上，然后一起放入烘箱中进行烘干，需要的烘干时间随土类和试样数量而改变。当冷却试样连续两次称量的差(每次间隔 4h)不超过原试样质量的 0.1% 时，即认为样品已烘干。

3.2.3 烘干后，从烘箱中取出盛有试样的铝盒，并将盒盖盖紧，放置冷却。

3.2.4 称铝盒和烘干试样的质量 m_3 ，并精确至 0.1g。

3.3 稳定粗粒土

3.3.1 取清洁干燥的铝盒，称其质量 m_1 ，并精确至 0.1g。取 2000g 试样经粉碎后松放在铝盒中，盖上盒盖，称其质量 m_2 ，并精确至 0.1g。

在没有大铝盒时，也可以将这些样品分成两盒进行烘干。试验结果应满足平行试验的误差要求，然后取其平均值。

3.3.2 对于水泥稳定材料，将烘箱温度调到 110℃；对于其他材料，将烘箱调到 105℃。待烘箱达到设定的温度后，取下盒盖，并将盛有试样的铝盒放在盒盖上，然后一起放入烘箱中进行烘干，需要的烘干时间随土类和试样数量而改变。当冷却试样连续两次称量的差(每次间隔 4h)不超过原试样质量的 0.1% 时，即认为样品已烘干。

3.3.3 烘干后，从烘箱中取出盛有试样的铝盒，并将盒盖盖紧，放置冷却。

3.3.4 称铝盒和烘干试样的质量 m_3 ，并精确至 0.1g。

4 计算

用式(T 0801—1)计算无机结合料稳定材料的含水量。

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$$

m_1 ——铝盒的质量(g)；

m_2 ——铝盒和湿稳定材料的合计质量(g)；

m_3 ——铝盒和干稳定材料的合计质量(g)。

(T 0801—1)

5 结果整理

本试验应进行两次平行测定，取算术平均值，保留至小数点后两位。允许重复性误差应符合表 T 0801—1 的要求。

含水量测定的允许重复性误差值

表 T 0801-1

含水量(%)	允许误差(%)
≤ 7	≤ 0.5
$> 7, \leq 40$	≤ 1
> 40	≤ 2

6 记录

本试验的记录格式见表 T 0801—2。

无机结合料稳定材料含水量测定记录表(烘干法)

表 T 0801-2

工程名称	试验者
试样位置	校核者
试样编号	试验日期
试验方法	

盒 号		
盒的质量 m_1 (g)		
盒+湿试样的质量 m_2 (g)		
盒+干试样的质量 m_3 (g)		
水的质量 $m_2 - m_3$ (g)		
干试样的质量 $m_3 - m_1$ (g)		
含水量(%)		

(二) T 0802—1994 含水量试验方法(砂浴法)

1 适用范围

本方法适用于在工地快速测定无机结合料稳定材料的含水率。当土中含有大量石膏、碳酸钙或有机质时，不应使用本方法。

砂浴可加热到 350℃。一般将干燥的细砂平铺在铁盘中，把容器半埋入砂中(底部的砂层要薄些)，在铁盘下加热。因砂导热效果较差、温度分布不均匀，所以砂浴的温度计水银球要靠近反应器。由于砂浴温度不易控制，故在试验中使用较少。砂浴法测定含水率的精度较差，为现场施工过程中快速测定提供参考数据，正式数据应以烘干法为准。

本次修订，对称量仪器的要求进行了调整，并增加了平行试验的精度要求，其余和 T 0802—1994 一样。

2 仪器设备

2.1 稳定细粒土

2.1.1 铝盒：直径约 50mm，高 25~30mm。

2.1.2 电子天平：量程不小于 150g，感量 0.01g。

2.1.3 砂浴：直径约 200mm、深至少 25mm 的砂浴 1 个，其中放有清洁的砂。也可以使用更大的砂浴，一次烘干几个试样。

2.1.4 加热砂浴的设备：1 套。

2.1.5 调土刀：刀片长 100mm，宽 20mm。

2.2 稳定中粒土

2.2.1 天平：量程不小于 1000g，感量 0.1g。

2.2.2 方盘：边长约 200mm、深约 50mm 白铁皮方盘。

2.2.3 砂浴：能放入方盘的砂浴 1 个，砂深至少 25mm。

2.2.4 加热砂浴的设备：1 套。

2.2.5 调土刀：同 2.1.5。

2.2.6 长方盘：长约 200mm，宽约 100mm。

2.3 稳定粗粒土

2.3.1 天平：量程不小于 3000g，感量 0.1g。

2.3.2 方盘：边长约 250mm，深 50~70mm。

2.3.3 砂浴：能放入方盘的砂浴 1 个，砂深至少 25mm。

2.3.4 加热砂浴的设备：1 套。

2.3.5 调土刀：同 2.1.5。

2.3.6 长方盘：长约 200mm，宽约 100mm。

3 试验步骤

3.1 稳定细粒土

3.1.1 取清洁干燥的铝盒，称其质量 m_1 ，并精确至 0.01g。至少取 30g 试样，经粉碎后松放在铝盒中，盖上盒盖，称其质量 m_2 ，并精确至 0.01g。

3.1.2 取下盒盖，将盛有试样的铝盒放在正在加热的砂浴内，但需注意勿使砂浴温度太高^①。在加热过程中，应经常用调土刀搅拌试样，以促使水分蒸发。

3.1.3 当加热一段时间(通常 1h 足够^②)使试样干燥后，从砂浴中取出铝盒，盖上盒盖，并放置冷却。

3.1.4 称铝盒和烘干试样质量 m_3 ，并精确至 0.01g。

注①：避免稳定材料过分加热。将一小张白纸片放在土中拌和，如纸变成焦黄色，就表示加热过分。

注②：烘干时间随土类、试样的数量及野外条件而变。当对某种土要做大量含水率测定时，应使用不同的干燥时间，以确定烘干所需要的最短时间。如将试样再烘 1min 后，其质量损失不超过 0.1g(对于细粒土)、0.5g(对于粗粒土)时，即认为土已被烘干。

3.2 稳定中粒土和粗粒土

3.2.1 取清洁干燥的方盘，称其质量 m_1 ，并精确至 0.1g。稳定中粒土的试样至少要 300g，稳定粗粒土的试样至少要 2000g。将试样粉碎并均匀地撒布在方盘内，称方盘和试样的合质量 m_2 ，并精确至 0.1g。

3.2.2 将方盘放在正在加热的砂浴内，应注意砂浴温度不要过高。在加热过程中，应经常用调土刀搅拌试样，以促使水分蒸发。

3.2.3 当加热一段时间(通常 1h 足够)后，从砂浴中取出方盘，并让其冷却。

3.2.4 当方盘冷却后，立即称方盘和烘干试样的合质量 m_3 ，并精确至 0.1g。

4 计算

用式(T 0802-1)计算无机结合料稳定材料的含水率。

用式(T 0802-1)计算无机结合料稳定材料的含水量

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \times 100$$

w ——无机结合料稳定材料的含水量(%)；

m_1 ——铝盒或方盘的质量(g)；

m_2 ——铝盒或方盘与湿稳定材料的合质量(g)；

m_3 ——铝盒或方盘与干稳定材料的合质量(g)。

5 结果整理

本试验应进行两次平行测定，取算术平均值，保留至小数点后两位。允许重复性误差应符合表 T 0802—1 的要求。

含水量测定的允许重复性误差值

表 T 0802-1

含水量 (%)	允许误差 (%)
≤ 7	≤ 0.5
$> 7, \leq 40$	≤ 1
> 40	≤ 2

6 记录

本试验的记录格式见表 T 0802—2。

无机结合料稳定材料含水量测定记录表(砂浴法)

表 T 0802-2

工程名称	_____	试验者	_____
试样位置	_____	校核者	_____
试样编号	_____	试验日期	_____
试验方法	_____		

盒 号		
盒的质量 m_1 (g)		
盒+湿试样的质量 m_2 (g)		
盒+干试样的质量 m_3 (g)		
水的质量 $m_2 - m_3$ (g)		
干试样的质量 $m_3 - m_1$ (g)		
含水量 (%)		

(三) T 0803—1994 含水量试验方法(酒精法)

1 目的和适用范围

本方法适用于在工地快速测定无机结合料稳定材料的含水率。当土中含有大量黏土、石膏、石灰质或有机质时，不应使用本方法。

考虑到现场试验的需要，本次修订中增加了对粗粒土的酒精法测含水率的试验方法。本次修订，对称量仪器的要求进行了调整，并增加了平行试验的精度要求，其余和 T 0803-1994 一样。

酒精法测定含水率的精度较差。酒精法适用于施工现场即时测定混合料的含水率，为施工质量控制提供参考数据。由于现在工地都有试验室，因此应尽量采用烘干法。若酒精法与烘干法试验结果严重不符，应重做试验，查明原因；若仍不符合，以烘干法试验数据为准。

2 仪器设备

2.1 蒸发皿：硅石蒸发皿。对于细粒土，采用直径 100mm 的；对于中粒土，采用直径 150mm 的；对于粗粒土，可用方盘。

2.2 刮土刀：长 100mm，宽 20mm。

2.3 搅拌棒：长 200~250mm，直径约 3mm。

2.4 天平：量程不小于 150g，感量 0.01g。

2.5 天平：量程不小于 1000g，感量 0.1g。

2.6 天平：量程不小于 3000g，感量 0.1g。

2.7 酒精：乙醇体积分数大于或等于 95%。

禁止使用固体酒精。

3 试验步骤

3.1 将蒸发皿洗净、烘干，称其质量 m_1 ，并精确至 0.01g。

3.2 对于细粒土，取试样 30g 左右放在蒸发皿内；对于中粒土，取试样 300g 左右放在蒸发皿内；对于粗粒土，取 2000g 放在蒸发皿或方盘中。称蒸发皿和试样的合质量 m_2 ，对细粒土精确至 0.01g，对中粒土、粗粒土精确至 0.1g。

3.3 对于细粒土，取约 25mL 酒精；对于中粒土，取约 200mL 酒精；对于粗粒土，取约 1500mL 酒精。将酒精倒在试样上，使其浸没试样。用刮土刀搅拌酒精和土样，并将大土块破碎。

3.4 将蒸发皿放在不怕热的表面上，点火燃烧。

3.5 在酒精燃烧过程中，用搅拌棒经常搅拌试样，但应注意勿使试样损失。对细粒土，至少燃烧 3 遍；对中、粗粒土，一般需烧 2~3 遍。

3.6 酒精燃烧完后，使蒸发皿冷却。当蒸发皿冷却至室温时，称蒸发皿和试样的合质量 m_3 ，细粒土精确至 0.01g，中、粗粒土精确至 0.1g。

4 计算

用式(T 0803—1)计算无机结合料稳定材料的含水量。

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$$

w ——无机结合料稳定材料的含水量(%)；

m_1 ——蒸发皿的质量(g)；

m_2 ——蒸发皿和湿稳定材料的合质量(g)；

m_3 ——蒸发皿和干稳定材料的合质量(g)。

5 结果整理

本试验应进行两次平行测定，取算术平均值，保留至小数点后两位。允许重复性误差应符合表 T 0803—1 的要求。

含水量测定的允许重复性误差值

表 T 0803-1

含水量(%)	允许误差(%)
≤ 7	≤ 0.5
$> 7, \leq 40$	≤ 1
> 40	≤ 2

6 记录

本试验的记录格式见表 T 0803—2。

无机结合料稳定材料含水量测定记录表(酒精法)

表 T 0803-2

工程名称	_____	试验者	_____
试样位置	_____	校核者	_____
试样编号	_____	试验日期	_____
试验方法	_____		

盒 号		
盒的质量 m_1 (g)		
盒+湿试样的质量 m_2 (g)		
盒+干试样的质量 m_3 (g)		
水的质量 $m_2 - m_3$ (g)		
干试样的质量 $m_3 - m_1$ (g)		
含水量(%)		

五、含水率试验中的问题

1、代表性试样的选取和试样数量

进行含水率试验时，常因土层不均匀，试样数量过少，扰动土样(风干土)拌合不匀，钻探取样时，取土器和筒壁的挤压，土样在运输和存放期间保持不当等等因素而影响试验结果。这些影响因素中，有的属于土样客观原因，有的属于人为造成。

钻探取样和运输中造成的影响可以从发展野外现场测试方法加以解决，如采用核射线法测定含水率。

土层不均匀是土体本身的客观实际，为此，选取测定含水率的试样时，应根据试验目的和要求而定。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；如果配合压缩试验、抗剪强度试验、渗透试验，应在切取试样环刀的上下两面选取土样，

这样测得的含水率的结果可能由于土样层次不均匀有所差异，但有助于了解土层的真实情况和对试验结果的分析。

关于试验的数量，对于烘干法，为使试验结果准确可靠，同时考虑到烘培时间的长短，粘质土取 15~30 克；砂质土或砾质土因持水性差，颗粒大小相差悬殊，水含量宜于变化，所以试样应多取一些，规定 50 克。酒精燃烧法大多为施工质量控制所采用，为使酒精用量不致过大，根据实践经验，粘性土的数量为 5~10 克。

2、测定含水率时烘干温度和控制

国家标准中规定测试含水率时的烘干温度采用 105~110℃，这取决于土的水理性质。粘性土中水一般分为强结合水、弱结合水和自由水三种，为不使强结合水不断析出及有机质不断损失，保证测得的结果稳定，烘干温度不宜过高。目前国际上一些主要试验标准，例如美国 ASTM、英国 BS、日本 JIS、德国 DIN 标准规定的烘干温度在 100~115℃之间，且多数采用 105~110℃。

酒精燃烧法和炒干法，其温度均不符合 105~110℃的要求，但酒精倒入试样开始燃烧时即气化，酒精的气体部分构成火焰的焰心，火焰与土样保持 2~3cm 的距离，实际上土样受到的温度仅仅在 70~80℃，待火焰将熄灭的几秒钟才与土面接触，致使土的温度上升到 200~220℃。由于高温燃烧时间较短，土样受到的温度基本适宜，根据经验得知，测得的结果与烘干法差别不大。

烘干时间与土的类别及取土数量有关。对粘性土取 15~30 克，烘干时间不少于 8 小时是根据多年比较试验而确定的。对砂性土不少于 6 小时，由于砂性土持水性差，水含量易于变化。对烘干、炒干、烧干的试样应先冷却后再称重，一是避免因天平受热不均匀影响称量精度，二是防止热土吸收空气中的水份。为此，试样应放在装有干燥剂的缸内冷却，缸口涂以凡士林与外界空气隔绝，试样在干燥皿内冷却至室温再称量。

3、关于有机质土的含水率测定

在 105~110℃恒温下长期烘培，有的有机质特别是腐植酸可在烘培过程中逐渐分解而不断的减轻其质量，使得测得的含水率比实际的含水率大；有的有机质(如有机碳)在烘培中其质量因氧化而增加，使得测得的测得的含水率比实际的含水率小。因此，标准规定有机质含量超过 5% 的土，烘干温度采用 65~70℃。

4、平行试验和平行差值

土工试验标准中规定采用平行试验的目的是为了避免操作中发生错误，对原状土通过平行试验可以进一步了解含水率的均匀程度。为保证试验准确度，试验中规定平行差值是合理的，对烘干法，含水率在 40% 以下，允许差值 1%；含水率大于等于 40%，允许差值 2%。而对于一些快速测定法，由于准确度较差，只能参考烘干法的规定，斟酌采用。

第4章 密度试验

土的密度定义为单位体积质量。它是土的主要物理性指标之一。用它可以换算土的干密度、孔隙比、饱和度等指标。无论室内试验或野外勘察以及施工质量控制中均要测定密度。测定密度的方法常用的有环刀法、蜡封法、灌砂法和灌水法等。对粘性土用环刀法操作简便而准确，在室内和野外普遍采用。不能用环刀切削的坚硬、易碎、含有粗粒、形状不规则的土可用蜡封法。灌砂法和灌水法一般在野外应用，适用于砂、砾等。近几年用于现场测定天然密度的核子射线法也逐渐成熟，对饱和松散砂、淤泥、软粘土等可用此法测定。

一、环刀法(国标)

1 试验方法适用

本试验方法适用于细粒土。

2 仪器设备

本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

(1)环刀：内径 61.8mm 和 79.8mm，高度 20mm。

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

3 试验步骤

环刀法测定密度，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。

4 湿密度计算

试样的湿密度，应按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (5.1.4)$$

式中 ρ_0 -试样的湿密度(g/cm³)，准确到 0.01 g/cm³。

5 干密度计算

试样的干密度，应按下式计算：

$$\rho_d = \frac{\rho_0}{1 + 0.01w_0} \quad (5.1.5)$$

6 试验误差

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 g/cm³，取两次测值的平均值。

7 环刀法试验的记录格式

表 D-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_____

试样编号	环刀号	湿土质量(g)	试样体积(cm ³)	湿密度(g/cm ³)	试样含水率(%)	干密度(g/cm ³)	平均干密度(g/cm ³)

8 环刀法的注意事项:

(1)按土质均匀程度及土样尺寸选择不同容积的环刀。室内进行密度试验,考虑到与剪切、固结等项试验所用环刀相配合,一般选用内径为 61.8mm,高为 20mm 即容积为 60cm³的环刀。施工现场检查填土压实密度时,因每层土压实厚度达 20~30cm,土层上下压实程度不匀,而环刀容积过小,取土深度稍有变化,所测密度误差较大,一般采用增大环刀容积提高试验成果的精度。环刀容积可用 200~500cm³。如果采用较小容积环刀,则应每层土的上、下部位分别测定密度,以了解土的压实程度。

环刀高度与直径之比对试验成果有影响,环刀高度过大时,土与环刀内壁的摩擦就越大,同时增大取样的困难,为此,要控制径高比,根据国内外的资料,一般采用的径高比为 2.5~3.5。

环刀壁越厚,压入时土样扰动程度越大,所以环刀壁越薄越好。但环刀压入土中时,受到相当的压力,壁过薄,则环刀容易变形和损坏,故一般壁厚采用 2mm 左右,刃口厚度 0.3mm。

(2)用环刀切土时,要防止试样扰动,所以应先切成一个较环刀内径略大的土柱,然后将环刀垂直下压。为避免环刀下压时挤压四周土样,应边压边削,直至土样伸出环刀,将两端修平、因环刀容积较大,不易切成土柱,故施工现场可用直接压入法。

7.例题

市政道路沟槽回填土素土一组三个环刀的试验数据如下:

序号	环刀+湿土重(g)	环刀+干土重(g)	环刀重(g)	序号	环刀+湿土重(g)	环刀+干土重(g)	环刀重(g)
1	156.6	134.3	42.4	3	155.4	133.2	43.6
2	156.7	134.5	42.2				

已知所用环刀体积为 60cm³,该素土的最大干密度为 1.76g/cm³,设计要求素土沟槽回填压实度 ≥85%。试计算该组环刀的代表密度和压实度,并作评定。

解:

(1)干密度: [(环刀+干土重)-环刀重]/环刀体积

$$\rho_{d1}=[134.3-42.4]/60=1.532\text{g/cm}^3$$

$$\rho_{d2}=[134.5-42.2]/60=1.538\text{g/cm}^3$$

$$\rho_{d3}=[133.2-43.6]/60=1.493\text{g/cm}^3$$

(2)平均干密度 $= (1.532+1.538+1.493)/3=1.52\text{g/cm}^3$

(3)压实度 $= \text{平均干密度}/\text{最大干密度}=1.52/1.76=86.4\%\approx 86\%$

(4)该组素土沟槽回填的压实度符合设计要求。

二、蜡封法(国标)

(一)试验方法适用

本试验方法适用于易破裂土和形状不规则的坚硬土。

(二)仪器设备

本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

蜡封设备：应附熔蜡加热器。

天平：称量 500g，精度 0.1g；称量 200g，精度 0.01g。

(三)蜡封法试验步骤

蜡封法试验，应按下列步骤进行：

1.从原状土样中，切取体积约 30cm^3 的代表性试样，清除表面浮土，削去尖锐棱角，系上细线，称试样质量 m_0 ，准确至 0.01g。

2.持线将试样缓缓浸入刚过熔点($57\sim 63^\circ\text{C}$)的蜡液中，浸没后立即提出，重复 2~3 次，使试样表面覆以一薄层蜡膜，检查试样周围的蜡膜有无气泡，当有气泡时应用烧热针刺破，再用蜡液补平，冷却后称蜡封试样质量 m_n 。

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 m_{nw} ，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。

(四)试样密度计算

试样的密度，应按下列式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{\frac{m_n - m_{nw}}{\rho_{wT}} - \frac{m_n - m_0}{\rho_n}} \quad (5.2.4)$$

式中 m_n -蜡封试样质量(g)；

m_0 -未蜡封时试样质量

m_{nw} -蜡封试样在纯水中的质量(g)；

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

ρ_n -蜡的密度(g/cm^3)。

(分母第一项为蜡封试样排开水的体积，第二项为蜡皮体积)

(五)干密度计算

试样的干密度，应按下列式计算。

$$\rho_d = \frac{\rho_0}{1 + 0.01w_0}$$

(六)试验误差要求

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

(七)蜡封法试验的记录格式

表 D-3 密度试验记录(蜡封法)

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	试样 质量 (g)	蜡封试样 质量 (g)	蜡封试样 水中质量 (g)	温度 (℃)	纯水在 T℃ 时的密度 (g/cm³)	蜡封试样 体积 (cm³)	蜡 体 积 (cm³)	试样体积 (cm³)	湿密度 (g/cm³)	含水 率 (%)	干密度 (g/cm³)	平均 干密度 (g/cm³)
	(1)	(2)	(3)		(4)	$(5) = \frac{(2)-(3)}{(4)}$	$(6) = \frac{(2)-(1)}{\rho_n}$	$(7) = (5) - (6)$	$(8) = \frac{(1)}{(7)}$	(9)	$(10) = \frac{(8)}{1+0.01(9)}$	

(八)蜡封法的注意事项：

- 1 关于蜡的温度规定刚过熔点，以蜡液达到熔点以后不出现气泡为准。蜡液温度过高，对试样的含水率和结构都会造成一定的影响，而温度过低，蜡溶解不均匀，不易封好蜡皮。蜡封时为避免土样的扰动和有气泡封闭在试样与蜡之间，故需缓慢地将试样浸入蜡中。
- 2 水的密度随温度而变化，故试验中应测定水温，其目的是为了消除因水密度变化而产生的影响。各种蜡的密度不相同，所以试验前需测定蜡的密度。测定方法可将蜡块系于线上，称其在空气和水中的质量，求出其密度。

三、灌砂法测密实度

(一)国标方法

1.概念

所谓灌砂法是利用已知密度的砂灌入试坑来测得被测土样试坑的体积，从而测定土样密度的一种方法。本法适用于测定粗粒土的密度和压实度，也可以测定细粒土的密度和压实度。密度为单位体积内物质的质量；压实度为实测干密度与最大干密度之百分比。

2.检测依据

《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019

3.仪器设备及环境

仪器设备

密度试验仪：由漏斗、漏斗架、防风筒、套环、附有 3 个固定器

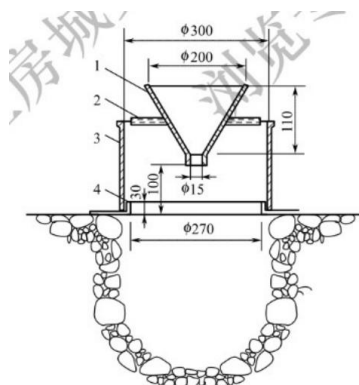


图 41.2.1 灌砂法密度试验仪(单位:mm)
1—漏斗;2—漏斗架;3—防风筒;4—套环

图 5.1 密度测定器

天平：称量 10kg，精度 5g；称量 50kg，精度 10g。

烘箱：能控制温度在 105℃~110℃。

标准砂 10kg~40kg 应干净清洁，粒径宜选用 0.25mm~0.50mm

料盘：大小适当。

工具：挖土铲，料勺、尺等。

环境：室内工作在常温下进行。

4.取样及制备要求

(1)每组 1 点。

(2)取样频率按验收规范执行，市政工程路基每 1000m² 每层取一组。

(3)取样要有代表性。

5.操作步骤

用套环的灌砂法步骤

(1)选定具有代表性的一块面积约 40cm× 40cm 的场地并将地面铲平。检查填土压实密度时，应将表面未压实土层清除掉，并将压实土层铲去一部分，其深度视需要而定，使试坑底能达到规定的深度。

(2)称盛量砂的容器加量砂质量。按图 41.2.1 所示，将仪器放在整平的地面上，用固定器将套环固定。开漏斗阀，将量砂经漏斗灌入套环内，待套环灌满后，拿掉漏斗、漏斗架及防风筒，无风可不用防风筒，用直尺刮平套环上砂面，使与套环边缘齐平。将刮下的量砂细心倒回量砂容器，不得丢失。称量砂容器加第 1 次剩余量砂质量。

(3)将套环内的量砂取出，称量，倒回量砂容器内。环内量砂允许有少部分仍留在环内。

(4)在套环内挖试坑，其尺寸应符合下表 a 的规定。挖坑时要特别小心，将已松动的试样全部取出。放入盛试样的容器内，将盖盖好，称容器加试样质量，并取代表性试样，测定含水率。

表 41.2.2 试坑尺寸与相应的最大粒径(mm)

试样最大粒径	试坑尺寸	
	直 径	深 度
5(20)	150	200
40	200	250
60	250	300
200	880	1000

(5) 在套环上重新装上防风筒、漏斗架及漏斗。将量砂经漏斗

(6) 取掉漏斗、漏斗架及防风筒,用直尺刮平套环上的砂面,使与套环边缘齐平。刮下的量砂全部倒回量砂容器内,不得丢失。称量砂容器加第二次剩余量砂质量。

不用套环的灌砂法步骤

(1) 选定具有代表性的一块面积约 40cm× 40cm 的场地并将地面铲平。检查填土压实密度时,应将表面未压实土层清除掉,并将压实土层铲去一部分,其深度视需要而定,使试坑底能达到规定的深度。

(2) 称盛量砂容器加量砂质量,在试坑上放置防风筒和漏斗,将量砂经漏斗灌入试坑内,量砂下落速度应大致相等,直至灌满试坑;

(3) 试坑灌满量砂后,去掉漏斗及防风筒,用直尺刮平量砂表面,使与原地面齐平,将多余的量砂倒回量砂容器,称量砂容器加剩余量砂质量。

6.数据处理与结果判定

(1) 湿密度应按下式计算:

1) 用套环法:

$$\rho = \frac{(m_{y4} - m_{y6}) - [(m_{y1} - m_{y2}) - m_{y3}]}{\frac{m_{y2} + m_{y3} - m_{y5}}{\rho_{ls}} - \frac{m_{y1} - m_{y2}}{\rho'_{ls}}}$$

式中: m_{y1} ——量砂容器加原有量砂质量(g);

m_{y2} ——量砂容器加第 1 次剩余量砂质量(g);

m_{y3} ——从套环中取出的量砂质量(g);

m_{y4} ——试样容器加试样质量(包括少量遗留砂质量)(g);

m_{y5} ——量砂容器加第 2 次剩余量砂质量(g);

m_{y6} ——试样容器质量(g);

m_{y7} ——量砂容器加剩余量砂质量(g);

ρ_{ls} ——往试坑内灌砂时量砂的平均密度(g/cm³);

ρ'_{ls} ——挖试坑前,往套环内灌砂时量砂的平均密度(g/cm³),计算至 0.01g/cm³。

2) 不用套环法:

$$\rho = \frac{m_{y4} - m_{y6}}{m_{y1} - m_{y7}} \rho_{ls}$$

式中： m_{y1} ——量砂容器加原有量砂质量(g)；
 m_{y2} ——量砂容器加第1次剩余量砂质量(g)；
 m_{y3} ——从套环中取出的量砂质量(g)；
 m_{y4} ——试样容器加试样质量(包括少量遗留砂质量)(g)；
 m_{y5} ——量砂容器加第2次剩余量砂质量(g)；
 m_{y6} ——试样容器质量(g)；
 m_{y7} ——量砂容器加剩余量砂质量(g)；
 ρ_{ls} ——往试坑内灌砂时量砂的平均密度(g/cm³)；
 ρ'_{ls} ——挖试坑前，往套环内灌砂时量砂的平均密度(g/cm³)，计算至0.01g/cm³。

7.注意事项

(1)挖试坑要注意尽量不扰动旁边的土，由于灌砂法适用砂、砾，在开挖试坑时，周围的砂粒容易移动，使试坑体积减小，测得的密度偏高，操作时应特别小心。试坑内已松动的颗粒应全部取出。

(2)称量好后要立即装入塑料袋密封，防止水分蒸发影响试样含水率的测定，从而影响干密度测定的准确性。

(3)地表刮平对正确测定试坑体积是很重要的。现在灌砂法一般不用套环，而是直接在刮平的地面上挖试坑，然后灌砂求其体积。往往由于地面没有刮平，使所测试坑体积不准确。为使所测体积比较正确，可以在表面放一套环，以套环上缘为固定基准面，可以灌砂测定基准面与地面之间的体积，挖坑后测基准面与坑底之间的体积，两者相减即为试坑体积。但该法增加工序，使试验时间延长，故一般不采用。

(二)交通方法

1.概念

所谓灌砂法是利用已知密度的砂灌入试坑来测得被测土样试坑的体积从而测定土样密度的一种方法。本法适用于测定粗粒土的密度和压实度，也可以测定细粒土的密度和压实度。测定粒径≤15mm细粒土时用 $\phi 100mm$ 灌砂筒，测定粒径≥15mm，达40~60mm时，应用 $\phi 150mm \sim \phi 200mm$ 的灌砂筒。密度为单位体积内物质的质量；压实度为实测干密度与最大干密度之百分比。

2.检测依据

《公路土工试验规程》JTG 3430-2020(T0111-1993)

3.仪器设备及环境

灌砂筒：直径100mm、150mm、200mm。(见图5-2)

标定罐：直径100mm、150mm、200mm。(见图5-2)

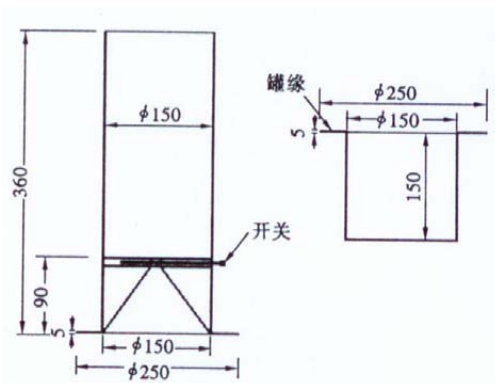


图 5-2 灌砂筒和标定罐

天平：称量 10~15kg，精度 5g(1~15kg)；称量 6000g，精度 1g(500~5000g)。

烘箱：能控制温度在 105~110℃。

料盘：大小适当。

工具：挖土铲、料勺、尺等。

环境：室内工作在常温下进行。

4. 取样及制备要求

(1) 每组 1 点。

(2) 取样频率按验收规范执行，市政工程路基每 1000m² 每层取一组。

(3) 取样要有代表性。

5. 操作步骤

(1) 确定灌砂筒下部圆锥体内量砂的质量

① 在灌砂筒上部储砂筒内装满量砂，筒内量砂的高度与筒顶的距离不超过 15mm，称筒内砂的质量 m_1 ，准确至 1g。每次标定及而后的试验都维持这个质量不变。

② 将开关打开，让砂流出，并使流出砂的体积与工地所挖试坑的体积相当(或与标定罐体积相当)。然后关上开关，称量筒及余砂质量 m_5 ，准确至 1g。

③ 将灌砂筒放在玻璃板上，打开开关，让砂流出，直到筒内砂不再下流时，关上开关，小心取走灌砂筒。

④ 收集并称量玻璃板上的量砂 m_{2i} 或称量筒及余砂质量 m'_5 ，准确至 1g。($m_{2i}=m_5-m'_5$) 玻璃板上的量砂就是填满灌砂筒下部圆锥体的量砂。

⑤ 重复上述过程三次，取平均值 m_2 ，准确至 1g。

(2) 标定量砂的密度

① 在灌砂筒上部储砂筒内装入质量为 m_1 的量砂，将灌砂筒放在标定罐上，打开开关，让砂流出，直到筒内砂不再下流时，关上开关，取下灌砂筒，称筒内余砂质量 m_{3i} ，准确至 1g。

② 重复上述过程三次，取平均值 m_3 ，准确至 1g。

③ 按下式计算填满标定罐所需量砂的质量 m_a ：

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3 \quad (5-18)$$

m_1 灌砂入标定罐前筒内砂的质量

m_2 灌砂筒下部圆锥体内砂的质量

m_3 灌砂入标定罐后余砂的质量

④ 用水确定标定罐的体积。

将空罐放在称台上，使罐上口处于水平位置，称量罐重， m_7 ，准确至 1g。罐顶放一直尺，慢慢

加水至水面刚好接触直尺，移去直尺，称量罐和水的总重 m_8 ，并测量水温。重复三次，取平均值。重复测量时仅需用吸管从罐中吸取少量水，并用滴管重新将水加满至接触直尺。标定罐的体积按下式计算：

$$v=(m_8-m_7)/\rho_{\text{水}} \quad (5-19)$$

$\rho_{\text{水}}$ 不同温度下值校正(参见国标法)

⑤按下式计算量砂的密度 ρ_s (g/cm³):

$$\rho_s = m_a / v \quad (5-20)$$

(3)灌砂法试验应按下列步骤进行

①选择一块 40cm×40cm 平坦表面，清扫干净，放上基板，将装有适量量砂的灌砂筒(重 m_5)放在基板中心圆孔上，打开开关，至筒内砂不再流动，关上开关，取走灌砂筒并称重 m_6 ，准确至 1g。

②取走基板，回收量砂，重新将表面清扫干净。将基板放在原位上，沿基板圆孔边凿洞，直径控制在比基板圆孔直径稍小，随时取出凿松的料，小心放入塑料袋中以防丢失，密封以防失水。洞深控制在标定灌深度左右为宜。凿毕清空松料后，称全部取出料重 m_t 。

③如果所选表面非常平整，则可不用基板，直接挖坑测定。需注意所挖坑要圆整，直径比灌砂桶稍小。

④从全部取出料中取有代表性样品测其含水率 w 。细粒土不小于 100g，粗粒土不宜小于 1000g。

$$w = (m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}) / m_{\text{干}} \times 100(\%) \quad (5-21)$$

⑤将灌砂筒(重 m_1)放在对准试坑的基板中心圆孔上(不用基板时直接放试坑上)，打开开关，至筒内砂不再流动，关上开关，取走灌砂筒，称量筒及余砂质量 m_4 ，准确至 1g。

⑥回收量砂以备后用。若量砂的湿度已变化或混有杂质，则应烘干过筛，并放置一段时间与空气湿度平衡后再用。

⑦如试坑中颗粒间有较大孔隙，量砂可能进入孔隙时，则应按试坑外形，松弛地放入一层柔软的纱布，再进行灌砂测定。

⑧填满试坑所需量砂的质量按下式计算：

$$\text{有基板: } m_b = m_1 - m_4 - (m_5 - m_6)$$

$$\text{无基板: } m_b = m_1 - m_4 - m_2$$

m_1 灌砂入试洞前筒内砂的质量

m_2 灌砂筒下部圆锥体内砂的质量

m_4 灌砂入试洞后筒内砂的质量

(m_5-m_6) 地面不平所占砂+圆锥体内砂的质量

6.数据处理与结果判定

(1)试样的湿密度 ρ (g/cm³)应按式计算，准确至 0.01g/cm³：

$$\rho = m_t / (m_b / \rho_s)$$

(2)试样的干密度 ρ_d (g/cm³)应按式计算，准确至 0.01g/cm³：

$$\rho_d = \rho / (1 + 0.01w)$$

(3)试样的压实度应按式计算：

$$\text{压实度} = \rho_d / \rho_{\text{最大}} \times 100(\%)$$

四、灌水法

(一) 验方法适用（国标方法）

本试验方法适用于现场测定粗粒土的密度。

(二) 仪器设备

本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 储水筒：直径应均匀，并附有刻度及出水管。

2 台秤：称量 50kg，最小分度值 10g。

(三) 灌水法试验

灌水法试验，应按下列步骤进行：

1 根据试样最大粒径，确定试坑尺寸见表 5.3.3。

表 5.3.3 试坑尺寸(mm)

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

2 将选定试验处的试坑地面整平，除去表面松散的土层。

3 按确定的试坑直径划出坑口轮廓线，在轮廓线内下挖至要求深度，边挖边将坑内的试样装入盛土容器内，称试样质量，准确到 10g，并应测定试样的含水率。

4 试坑挖好后，放上相应尺寸的套环，用水准尺找平，将大于试坑容积的塑料薄膜袋平铺于坑内，翻过套环压住薄膜四周。

5 记录储水筒内初始水位高度，拧开储水筒出水管开关，将水缓慢注入塑料薄膜袋中。当袋内水面接近套环边缘时，将水流调小，直至袋内水面与套环边缘齐平时关闭出水管，持续 3~5min，记录储水筒内水位高度。当袋内出现水面下降时，应另取塑料薄膜袋重做试验。

(四) 试坑的体积

试坑的体积，应按下列公式计算：

$$V_p = (H_1 - H_2) \times A_w - V_0 \quad (5.3.4)$$

式中 V_p - 试坑体积(cm³)；

H_1 - 储水筒内初始水位高度(cm)；

H_2 - 储水筒内注水终了时水位高度(cm)；

A_w - 储水筒断面积(cm²)；

V_0 - 套环体积(cm³)。

(五) 试样的密度计算

试样的密度，应按下列公式计算：

$$\rho_0 = \frac{m_p}{V_p} \quad (5.3.5)$$

式中 m_p - 取自试坑内的试样质量(g)。

(六) 灌水法试验的记录格式

表 D-4 密度试验记录(灌水法)

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	储水筒水位 (cm)		储水筒 断面积 (cm ²)	试坑体积 (cm ³)	试样 质量 (g)	湿密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	干密度 (g/cm ³)	试样重度 (kN/cm ³)
	初始	终了							
		(1)	(2)	(3)	(4)=[(2)-(1)]×(3)	(5)	(6)= $\frac{(5)}{(4)}$	(7)	(8)= $\frac{(6)}{1+0.01(7)}$

(七)注意事项

目前不少工地采用灌水法测定试样密度,挖试坑后在坑内铺塑料薄膜袋,由于薄膜不能紧贴凹凸不平的坑壁,并有折叠、皱纹等现象,使测得的体积缩小,计算的密度偏大。为了避免过大的误差,要求薄膜袋的尺寸应与试坑大小相适应。

第 5 章 击实试验

一、《公路土工试验规范》JTG 3430-2020

1 目的和适用范围

本试验分轻型击实和重型击实。应根据工程要求和试样最大粒径按表 T0131-1 选用击实试验方法。当粒径大于 40mm 的颗粒含量大于 5%且不大于 30%时,应对试验结果进行校正。粒径大于 40mm 的颗粒含量大于 30%时,按本规程 T0133 试验进行。

2 仪器设备

2.1 标准击实仪(图 T 0131—1 和图 T 0131.2)。击实试验方法和相应设备的主要参数应符合表 T 0131-1 的规定。

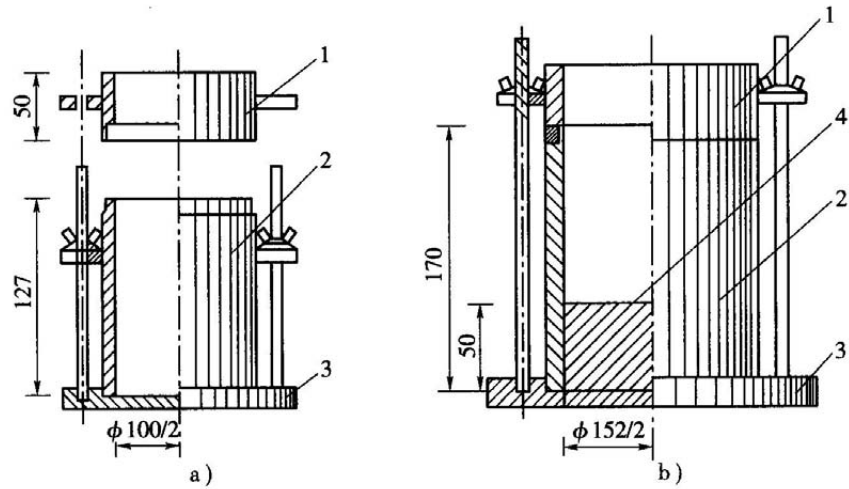


图 T 0131-1 击实筒(单位:mm)

a)小击实筒;b)大击实筒

1-套筒;2-击实筒;3-底板;4-垫板

表 T 0131-1 击实试验方法种类

试验方法	类别	锤底直径 (cm)	锤质量 (kg)	落高 (cm)	试筒尺寸		试样尺寸		层数	每层 击数	击实功 (kJ/m³)	最大 粒径 (mm)
					内径 (cm)	高 (cm)	高度 (cm)	体积 (cm³)				
轻型	I-1	5	2.5	30	10	12.7	12.7	997	3	27	598.2	20
	I-2	5	2.5	30	15.2	17	12	2 177	3	59	598.2	40
重型	II-1	5	4.5	45	10	12.7	12.7	997	5	27	2 687.0	20
	II-2	5	4.5	45	15.2	17	12	2 177	3	98	2 677.2	40

2.2 烘箱及干燥器。

2.3 天平：感量 0.01g。

2.4 台秤：称量 10kg，感量 5g。

2.5 圆孔筛：孔径 40mm、20mm 和 5mm 各 1 个。

2.6 拌和工具：400mm×600mm、深 70mm 的金属盘，土铲。

2.7 其他：喷水设备、碾土器、盛土盘、量筒、推土器、铝盒、修土刀、平直尺等。

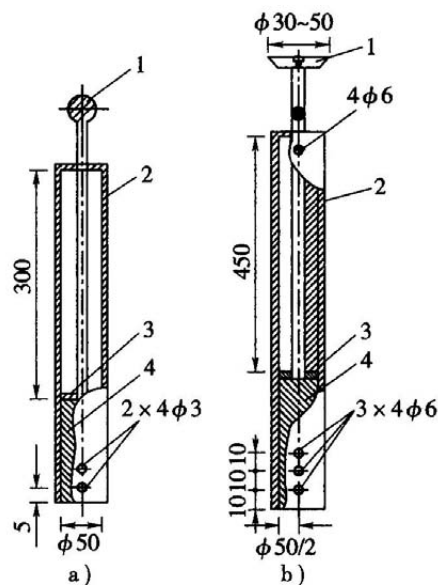


图 T 0131-2 击锤和导杆(单位:mm)

a)2.5kg 击锤(落高 30cm); b)4.5kg 击锤
(落高 45cm)

1-提手;2-导筒;3-硬橡皮垫;4-击锤

3 试件

3.1 本试验可分别采用不同的方法准备试样。各方法可按表 T 0131—2 准备试料。

表 T 0131-2 试料用量

使用方法	试筒内径 (cm)	最大粒径 (mm)	试料用量
干土法	10	20	至少 5 个试样, 每个 3 kg
	15.2	40	至少 5 个试样, 每个 6 kg
湿土法	10	20	至少 5 个试样, 每个 3 kg
	15.2	40	至少 5 个试样, 每个 6 kg

3.2 试样制备分为干法和湿法两种。

干土法。过 40mm 筛后, 按四分法至少准备 5 个试样, 分别加入不同水分(按 1%~3% 含水率递增), 拌匀后闷料一夜备用。

湿土法。对于高含水率土, 可省略过筛步骤, 用手拣除大于 40mm 的粗石子即可。保持天然含水率的第一个土样, 可立即用于击实试验。其余几个试样, 将土分成小土块, 分别风干, 使含水率按 2%~4% 递减。

4 试验步骤

将击实筒放在坚硬的地面上, 在筒壁上抹一薄层凡士林, 并在筒底(小试筒)或垫块(大试筒)上放置蜡纸或塑料薄膜。取制备好的土样分 3~5 次倒入筒内。

小筒按三层法时, 每次约 800~900g(其量应使击实后的试样等于或略高于筒高的 1/3); 按五层法时, 每次约 400~500g(其量应使击实后的土样等于或略高于筒高的 1/5)。对于大试筒, 先将垫块放入筒内底板上, 按三层法, 每层需试样 1700g 左右。

整平表面, 并稍加压紧, 然后按规定的击数进行第一层土的击实, 击实时击锤应自由垂直落下, 锤迹必须均匀分布于土样面, 第一层击实完后, 将试样层面“拉毛”然后再装入套筒, 重复上述方

法进行其余各层土的击实。小试筒击实后，试样不应高出筒顶面 5mm；大试筒击实后，试样不应高出筒顶面 6mm。

用修土刀沿套筒内壁削刮，使试样与套筒脱离后，扭动并取下套筒，齐筒顶细心削平试样，拆除底板，擦净筒外壁，称量，准确至 1g。

用推土器推出筒内试样，从试样中心处取样测其含水率，计算至 0.1%。两个试样含水率的精度应符合下表的规定。

用推土器推出筒内试样，从试样中心处取样测其含水率，计算至 0.1%。两个试样含水率的精度应符合下表的规定。

表 T 0131-3 测定含水率用试样的数量

最大粒径 (mm)	试样质量 (g)	个数
<5	约 100	2
约 5	约 200	1
约 20	约 400	1
约 40	约 800	1

4.5 对于干土法(土不重复使用)和湿土法(土不重复使用)，将试样搓散，然后按本试验第 3 条方法进行洒水、拌和，每次约增加 2%~3% 的含水率，其中有两个大于和两个小于最佳含水率，所需加水量按下式计算：

$$m_w = \frac{m_i}{1 + 0.01w_i} \times 0.01(w - w_i)$$

式中： m_w —所需的加水量(g)；

m_i —含水率 w_i 时土样的质量(g)；

w_i —土样原有含水率(%)；

w —要求达到的含水率(%)。

按上述步骤进行其他含水率试样的击实试验。

5 结果整理

5.1 按下式计算击实后各点的干密度：

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w}$$

式中： ρ_d —干密度(g / cm³)，计算至 0.01；

ρ —湿密度(g / cm³)；

w —含水率(%)。

5.2 以干密度为纵坐标，含水率为横坐标，绘制干密度与含水率的关系曲线(图 T 0131-3)，曲线上峰值点的纵、横坐标分别为最大干密度和最佳含水率。如曲线不能绘出明显的峰值点，应进行补点或重做。

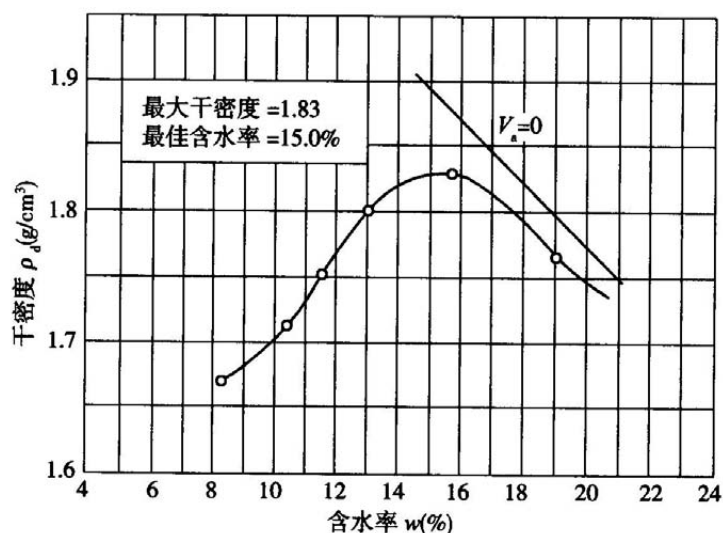


图 T 0131-3 含水率与干密度的关系曲线

5.3 按下式计算饱和曲线的饱和含水率 $w_{\max}$ ，并绘制饱和含水率与干密度的关系曲线图。

$$w_{\max} = \left[\frac{G_s \rho_w (1 + w) - \rho}{G_s \rho} \right] \times 100$$

$$w_{\max} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

式中： $w_{\max}$ —饱和含水率(%)，计算至 0.01；

ρ —试样的湿密度(g / cm³)；

ρ_w —水在 4℃时的密度(g / cm³)；

ρ_d —试样的干密度(g / cm³)；

G_s ——试样土粒比重，对于粗粒土，则为土中粗细颗粒的混合比重；

w ——试样的含水率(%)。

5.4 当试样中有大于 40mm 的颗粒时，应先取出大于 40mm 的颗粒，并求得其百分率 p ，把小于 40mm 部分做击实试验，按下面公式分别对试验所得的最大干密度和最佳含水率进行校正(适用于大于 40mm 颗粒的含量小于 30%时)。

最大干密度按下式校正：

$$\rho'_{dm} = \frac{1}{\frac{1 - 0.01p}{\rho_{dm}} + \frac{0.01p}{\rho_w G'_s}}$$

式中： ρ'_{dm} ——校正后的最大干密度(g / cm³)，计算至 0.01；

ρ_{dm} ——用粒径小于 40mm 的土样试验所得的最大干密度(g / cm³)；

p ——试料中粒径大于 40mm 颗粒的百分率(%)；

G'_s ——粒径大于 40mm 颗粒的毛体积比重，计算至 0.01。

最佳含水率按下式校正：

$$w'_0 = w_0(1 - 0.01p) + 0.01pw_2$$

式中： w'_0 ——校正后的最佳含水率(%), 计算至 0.01;

w_0 ——用粒径小于 40mm 的土样试验所得的最佳含水率(%);

p ——同前;

w_2 ——粒径大于 40mm 颗粒的吸水量(%)。

5.5 本试验记录格式如表 T 0131-4。

表 T 0131-4 击实试验记录

校核者_____		计算者_____		试验者_____							
土样编号		筒号		落距	45cm						
土样来源		筒容积	997cm ³	每层击数	27						
试验日期		击锤质量	4.5kg	大于 5mm 颗粒含量							
干 密 度	试验次数	1	2	3	4	5					
	筒 + 土质量 (g)	2 981.8	3 057.1	3 130.9	3 215.8	3 191.1					
	筒质量 (g)	1 103	1 103	1 103	1 103	1 103					
	湿土质量 (g)	1 878.8	1 954.1	2 027.9	2 112.8	2 088.1					
	湿密度 (g/cm ³)	1.88	1.96	2.03	2.12	2.09					
	干密度 (g/cm ³)	1.71	1.75	1.80	1.83	1.76					
含 水 率	盒号										
	盒 + 湿土质量 (g)	35.60	35.44	33.93	33.69	32.88	33.16	33.13	34.09	36.96	38.31
	盒 + 干土质量 (g)	34.16	34.02	32.45	32.26	31.40	31.64	31.36	32.15	24.28	35.36
	盒质量 (g)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	水质量 (g)	1.44	1.42	1.48	1.43	1.48	1.52	1.77	1.94	2.68	2.95
	干土质量 (g)	14.16	14.02	12.45	12.26	11.40	11.64	11.36	12.15	14.28	15.36
	含水率 (%)	10.3	10.1	11.9	11.7	13.0	13.0	15.6	16.0	18.8	19.2
	平均含水率 (%)	10.2		11.8		13.0		15.8		19.0	
最佳含水率 = 15.0%				最大干密度 = 1.83g/cm ³							

5.6 精密度和允许差。

最大干密度精确至 0.01g/cm³;最佳含水率精确至 0.1%

6 报告

6.1 试样状态描述

6.2 土的最佳含水率 W_0 (%)。

6.3 土的最大干密度(g / cm³)。

条文说明

1 各国所用的击实试验方法是大同小异的, 重型击实试验方法的单位击实功为轻型击实法的 4.5 倍。由于各国所用试筒的容积与美国的不尽相同, 因此试验方法就有所不同: 一种是改变击数而不

改变击实功，例如英国；另一种是不改变击数而改变击实功，例如日本。英国 BS 1377-75 将试筒容积调整为 1000cm^3 后，为了维持原轻型 $598.2\text{kJ}/\text{m}^3$ 的击实功数值，特将每层击数提高到 27 次。

本次修订对击实试验采取了不同层数和击数而不改变击实功的做法，即对不同试验类别分别采用 27 次和 98 次，使相应的击实功仍维持在 $2677.2\sim 2687.0\text{kJ}/\text{m}^3$ 左右。

为了适应不同道路等级、各种压实机具等的要求，本规程将轻型与重型试验并列。采用哪种方法，应根据有关规定或工程、科学试验的特殊需要选定。试验表明，在单位体积击实功相同的情况下，同类土用轻型和重型击实试验的结果相同。

考虑到在标准筛系列中没有 25mm 和 38mm 筛，结合对大粒径颗粒含量的要求，修订为 20mm 和 40mm 筛。

2 本次修订仍然采用了与美国试筒相近的尺寸，其中大试筒高 17cm，减去垫块厚度 5cm，净高为 12cm。容积达 2177cm^3 ，比美国的类似试筒 2144cm^3 稍大。设计大试筒是为了既可做击实试验，也可做承载比试验。

3 根据试验类型的不同，分别采用干土法和湿土法准备试样。取消了干土法试样的重复使用方法。

所谓湿土法，就是采集 5 个以上的高含水率土样，每个质量 3kg 左右，按施工时能进行碾压的最高含水率分别晾干至不同含水率，其中至少 3 个土样小于此最高含水率，至少 2 个土样大于此最高含水率，然后按常规法进行击实试验。

4 根据工程实际的具体要求，按击实试验方法种类中规定选择轻型或重型试验方法；根据土的性质按表 T 0131—2 规定选用干土法或湿土法，对于高含水率土宜选用湿土法，对于非高含水率土则选用干土法。

4.2 这是很重要的试验步骤，应严格掌握。对于干土法，每次宜增加 2%~3% 的含水率，这样可以提高击实曲线的质量。

5 土中夹有较大的颗粒，如碎(砾)石等，对于求最大干密度和最佳含水率都有一定的影响。所以试验规定要过 40mm 筛。如 40mm 筛上颗粒(称超尺寸颗粒)较多(3%~30%)时，所得结果误差较大。因此，必须对超尺寸颗粒的试料直接用大型试筒(如容积 2177cm^3)做试验。当细粒土中的粗粒土含量大于 40% 时，还应做粗粒土最大干密度试验，其结果与重型击实试验结果相比较，最大干密度取两种试验结果的最大值。最佳含水率则对应取值。

二、《土工试验方法》GB / T 50123-2019

(一)、目的和适用范围

室内击实试验是为了确定扰动土在一定的击实功能下干密度随含水率变化的关系曲线，以求得土的最大干密度和最优含水率；了解土的压实特性，为工程设计和现场施工碾压提供土的压实性资料。

土的压实程度与含水率、压实功能和压实方法有密切的关系。当压实功能和压实方法不变时，土的干密度随含水率增加而增加，当干密度达到某一最大值后，含水率继续增加反而使干密度减小，此一最大值即为最大干密度，相应的含水率为最优含水率。

这是因为细粒土在低含水率时，颗粒表面水膜薄，摩擦力大，不易压实。当含水率逐渐增大时，颗粒表面水膜逐渐变厚，其水膜的润滑作用也增大，因而颗粒表面摩擦力相应地减小，在外力作用

下，就容易压实，而继续增加水量，只会增加土的孔隙体积，使干密度相应降低。

工程经验表明：欲将填土压实，必须使其水分降低到饱和程度以下，要求土体处于三相状态。土在瞬时冲击荷载重复作用下，颗粒重新排列，其固态密度增加，气态体积减小。当锤击力作用于土样时，首先产生压缩变形，当锤击力消失后，土又出现回弹现象。因此，土的压实过程，既不是固结过程，也不同于一般压缩过程，而是一个土颗粒和粒组在不排水条件下的重新组构过程。

(二)、轻型击实和重型击实

本试验分轻型击实和重型击实。适用于粒径小于 20mm 的土样。

室内扰动土的击实试验一般根据工程实际情况选用轻型击实和重型击实。对于水库、堤防填土等工程常用轻型击实法，而高速公路填土和机场跑道等工程则用重型击实法。

(三)、击实功及击次

轻型击实试验的单位体积击实功约 592.2kJ/m³，重型击实试验的单位体积击实功约 2684.9kJ/m³。

表 13.2.1 击实仪主要技术指标

试验方法	锤底直径 (mm)	锤质量 (kg)	落高 (mm)	层数	每层 击数	击实筒			护筒 高度 (mm)	备注
						内径 (mm)	筒高 (mm)	容积 (cm ³)		
轻型	51	2.5	305	3	25	102	116	947.4	≥50	
				3	56	152	116	2103.9	≥50	
重型		4.5	457	3	42	102	116	947.4	≥50	
				3	94	152	116	2103.9	≥50	
				5	56					

(四)、仪器设备

本试验所用的主要仪器设备(如图 4-1、4-2)应符合下列规定：

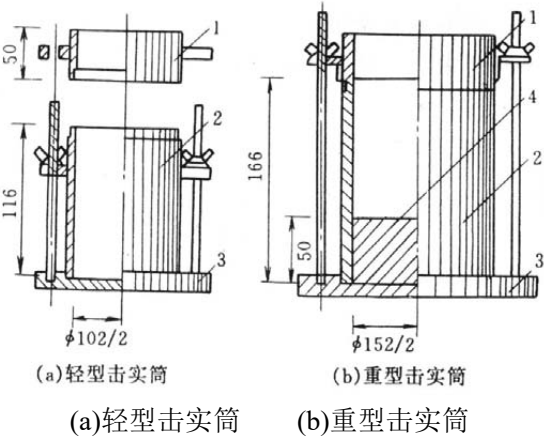


图 4-1 击实筒(mm)

1 套筒；2 击实筒；3 底板；4 垫块

1 击实仪的击实筒和击锤尺寸应符合表 4-1 规定。

2 击实仪的击锤应配导筒，击锤与导筒间应有足够的间隙使锤能自由下落；电动操作的击锤必须有控制落距的跟踪装置和锤击点按一定角度(轻型 53.5°，重型 45°)均匀分布的装置(重型击实仪中心点每圈要加一击)。

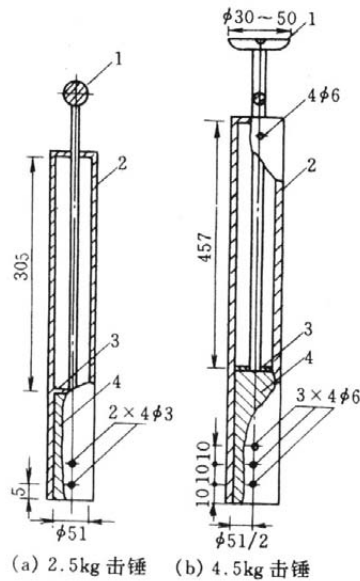


图 4-2 击锤与导筒(mm)

1-提手；2-导筒；3-硬橡皮垫；4-击锤

3 天平：称量 200g，最小分度值，0.01g。

4 台秤：称量 10kg，最小分度值 5g。

5 标准筛：孔径 20mm、40mm 和 5mm。

6 试样推出器：宜用螺旋式千斤顶或液压式千斤顶，如无此类装置，亦可用刮刀和修土刀从击实筒中取出试样。

(五)、干法和湿法

试样制备分为干法和湿法两种。

(1) 干法制备应按下列步骤进行：

1) 用四点分法取一定量的代表性风干试样，其中小筒所需土样约为 20kg，大筒所需土样约为 50kg，放在橡皮板上用木碾碾散，也可用碾土器碾散；

2) 轻型按要求过 5mm 或 20mm 筛，重型过 20mm 筛，将筛下土样拌匀，并测定土样的风干含水率；根据土的塑限预估的最优含水率，并按本标准第 4.3 节规定的步骤制备不少于 5 个不同含水率的一组试样，相邻 2 个试样含水率的差值宜为 2%；

3) 将一定量土样平铺于不吸水的盛土盘内，其中小型击实筒所需击实土样约为 2.5kg，大型击实筒所取土样约 5.0kg，按预定含水率用喷水设备往土样上均匀喷洒所需加水量，拌匀并装入塑料袋内或密封于盛土器内静置备用。静置时间分别为：高液限黏土不得少 24h，低液限黏土可酌情缩短，但不应少于 12h。

(2) 湿法制备

应取天然含水率的代表性土样，其中小型击实筒所需土样约为 20kg，大型击实筒所需土样约为 50kg。碾散，按要求过筛，将筛下土样拌匀，并测定试样的含水率。分别风干或加水到所要求的含水率，应使制备好的试样水分均匀分布。

(六)、试验步骤

击实试验应按下列步骤进行：

(1) 将击实仪平稳置于刚性基础上,击实筒内壁和底板涂一薄层润滑油,连接好击实筒与底板,安装好护筒。检查仪器各部件及配套设备的性能是否正常,并做好记录。

(2) 从制备好的一份试样中称取一定量土料,分 3 层或 5 层倒入击实筒内并将土面整平,分层击实。手工击实时,应保证使击锤自由铅直下落,锤击点必须均匀分布于土面上;机械击实时,可将定数器拨到所需的击数处,击数可按表 13.2.1 确定,按动电钮进行击实。击实后的每层试样高度应大致相等,两层交接面的土面应刨毛。击实完成后,超出击实筒顶的试样高度应小于 6mm。

(3) 用修土刀沿护筒内壁削挖后,扭动并取下护筒,测出超高,应取多个测值平均,准确至 0.1mm。沿击实筒顶细心修平试样,拆除底板。试样底面超出筒外时,应修平。擦净筒外壁,称量,准确至 1g。

(4) 用推土器从击实筒内推出试样,从试样中心处取 2 个一定量的土料,细粒土为 15g~30g,含粗粒土为 50g~100g。平行测定土的含水率,称量准确至 0.01g,两个含水率的最大允许差值应为 ±1%。

(5) 应按本条第 1 款~第 4 款的规定对其他含水率的试样进行击实。一般不重复使用土样。

(七)、干密度计算

试样的干密度应按下式计算:

$$\rho_d = \frac{\rho_0}{1 + 0.01w_i}$$

式中 w_i -某点试样的含水率(%)。

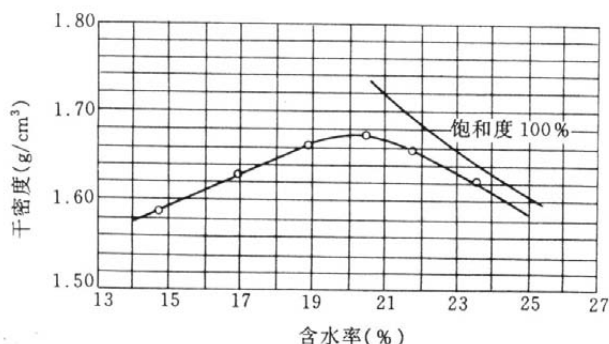
(八)、干密度和含水率的关系曲线

干密度和含水率的关系曲线,应在直角坐标纸上绘制(如图 4-3)。并应取曲线峰值点相应的纵坐标为击实试样的最大干密度,相应的横坐标为击实试样的最优含水率。当关系曲线不能绘出峰值点时,应进行补点。土样不宜重复使用。

图上击实曲线右上方的一条线,称为饱和曲线,表示土在饱和状态时含水率与干密度之间的关系。由于土是处于三相状态,当土被击实到最大干密度时,土孔隙中的空气不易排出,即使加大击实功能也不能将土中受困气体排尽,故被击实的土体不可能达到完全饱和的程度。因此,当土的干密度相等时,击实曲线上各点的含水率,必然都小于饱和曲线上相应的含水率,所以击实曲线不可能与饱和曲线出现相交。

由于击实曲线一定要出现峰值点,由经验得知,最大干密度的峰值往往都在塑限含水率附近。根据土的压实理论,峰值点就是孔隙比最小的点,所以在制备土样时选择的含水率一般是二个含水率高于塑限含水率,二个低于塑限含水率,以使试验结果能满足要求。重型击实试验测得的最优含水率较轻型击实测得的小,制备不同含水率试样时可以向含水率较小方向移动。

重型击实试验中,为了保证击实筒内中央土层和周围土层所受击实功能相同,在采用机械操作时,击实仪必须具备在每一圈周围击实完后中间加一锤的功能。



$\rho_d - w$ 关系曲线 含水率(%)

图 4-3 干密度与含水率关系曲线

(九)、饱和度等值线

气体体积等于零(即饱和度 100%)的等值线应按下式计算, 并应将计算值绘于本标准图 4-3 的关系曲线上。

$$w_{set} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

式中 w_{set} -试样的饱和含水率(%);

ρ_w -温度 4℃时水的密度(g/cm³);

ρ_d -试样的干密度(g/cm³);

G_s -土颗粒比重。

(十)、击实试验的记录格式

表 D-17 击实试验记录											
工程编号 _____						试验者 _____					
试样编号 _____						计算者 _____					
试验日期 _____						校核者 _____					
试验 序号	预估最优含水率 _____ %				风干含水率 _____ %				试验类别 _____		
	筒加 试样 质量 (g)	筒 质量 (g)	试样 质量 (g)	筒 体积 (cm ³)	湿密度 (g/cm ³)	干密度 (g/cm ³)	盒 号	湿土 质量 (g)	干土 质量 (g)	含 水 率 (%)	平均 含水 率 (%)
	(1)	(2)	(3) = (1) - (2)	(4)	(5) = (3) / (4)	(6) = (5) (1) + 0.01(10)		(7)	(8)	(9) = [(7)/(8) - 1] × 100	(10)

三、击实试验标准的选择

我国以往采用的击实仪是南实处（南京水利实验处）型击实仪，击实分三层，每层 25 击。国际上通用的击实标准是以普氏(R.R.Proctor, 1933)提出的试验方法为基础。由于普氏击实仪的击锤直径比击实筒直径小，因而在击实时锤座可以沿土面移动，对土起揉搓和排气作用，它有利于土的加密，也与现场碾压方式相适应。各国仪器的具体尺寸不一致，但单位击实功能与冲量均与普氏仪功能等效。南实处型击实仪与普氏击实仪所不同的是锤落高 460mm，南实仪击实功能远比普氏仪的大，而所得最大干密度却相差不大。考虑到国际上普遍采用的是普氏仪，为此而选择与普氏标准等效的标准。目前国内也生产了定型的击实仪，且增添了电动操作的产品，克服了手动击实劳动强度大的缺点。

四、击实试验中的几个问题

1. 土样制备方法不同，所得击实试验成果不同。试验证明：最大干密度以烘干土最大，风干土次之，天然土最小；最优含水率也因制备方法不同而不同。以烘干土最低，这种现象粘土最明显，粘粒含量越高，烘干对最大干密度影响也越大，这显然是烘干影响了胶粒性质，故粘土不宜用烘干土备样。

一般制样采用湿法和干法两种，而干法以风干土居多，也有用低于 60℃温度烘干的土。

对于特殊土例如红土，不同含水率土样的配制方法对压实影响尤为显著，将天然含水率的土风干为不同含水率的一组试样(即由湿到干)进行击实，与事先将天然含水率的土风干，再加水制备成不同含水率的试样(即由干到湿)进行击实，两种制样方法所得试验成果差异较大。见.图 4-4。

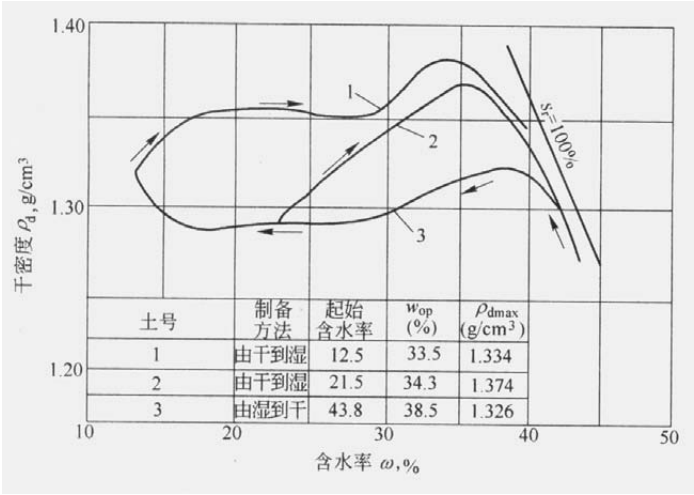


图 4-4 制备含水率对击实的影响

2.试样击实后总会有部分土超过筒顶高，这部分土柱称为余土高度。标准击实试验所得的击实曲线是指余土高度为零时的单位体积击实功能下土的干密度与含水率的关系曲线，也就是说，此关系曲线是以击实筒容积为体积的等单位功能曲线。由于实际操作中总是存在或多或少的余土高度，如果余土高度过大，则关系曲线上的干密度就不再是一定功能下的干密度，试验结果的误差会增大。因此，为了控制人为因素造成的误差，根据比较试验结果表明：当余土高度不超过 6mm 时，干密度的误差(以余土高度为零时的干密度为基准)才能控制在允许误差范围内。为了保证试验准确度，标准中规定余土高度不得超过 6mm。

3.重复使用土样，对最大干密度和最优含水率以及其他物理性质指标有一定影响。因为土中的部分颗粒由于反复击实而破碎，改变了土的级配，其次是试样被击实后要恢复到原来松散状态比较困难，特别是高塑性粘土，再加水时更难以浸透，因而影响试验成果。

国内外对此均进行过比较试验，结果表明：重复用土对最大干密度影响较大，差值达 0.05~0.08g/cm³；对最优含水率影响较小，对强度指标也有影响。

4.土料中常掺杂有较大的颗粒如砾石等，这些颗粒的存在，对填土的最大干密度和最优含水率都有一定的影响。由于仪器尺寸的限制，必须将土样过 5mm 筛。因此，当粒径大于 5mm 颗粒的土含量小于 30%时，就产生了轻型击实试验中对含粒径大于 5mm 颗粒土的试验结果的校正。在一般情况下，粘性土料中，大于 5mm 以上的颗粒含量占总土量的百分数不大的，大颗粒间的孔隙能被细粒土所填充，因此，可以根据土料中粒径大于 5mm 颗粒含量和该颗粒的饱和面干比重，用过筛后土料的击实试验结果来推算总土料的最大干密度和最优含水率。如果大于 5mm 的颗粒含量超过 30%，此时大颗粒土间的孔隙将不能被细粒土所填充，应使用其他试验方法。

五、例题

某一组素土重型击实试验数据如下，击实筒体积为 997g/cm³，试计算确定最大干密度和最佳含水率。

序号	试件湿土重(g)	小试样湿土重(g)	小试样干土重(g)	小试样含水率(%)	平均含水率(%)	试件干重(g)	试件干密度 g/cm ³
1	1885	25.87	23.50	10.09	9.9	1715	1.72
		24.45	22.28	9.74			
2	2025	24.85	22.27	11.58	11.7	1813	1.82
		25.94	23.20	11.81			
3	2105	25.49	22.46	13.49	13.6	1853	1.86
		26.32	23.15	13.69			
4	2110	24.69	21.35	15.64	15.5	1827	1.83
		25.28	21.91	15.38			
5	2030	25.4	21.57	17.76	17.8	1723	1.73
		26.27	22.29	17.86			

解：(1)含水率=(小试样湿土重-小试样干土重)/小试样干土重

(2)平均含水率=同组两个含水率之和/2

(3)试件干重=试件湿土重/(1+平均含水率)

(4)试件干密度=试件干重/击实筒体积

(5)根据上表计算结果确定：

最大干密度为 1.86g/cm³

最佳含水率为 13.6%

答：该组素土的最大干密度为 1.86g/cm³；最佳含水率为 13.6%。

第 6 章 土的比重试验

土粒比重是土的三大基本物理性指标(比重、密度、含水率)之一,它是换算土的六个基本物理性计算指标和评价土类的重要依据之一,是一无量纲量。

关于比重的定义,以往《土工试验规程》上一般将比重定义为:土粒在温度 100℃~105℃,烘至恒重时的重量与同体积 4℃时蒸馏水重量的比值。

各类科技词典中,多取物理学的定义来解释比重这个词,即物理的重量与其体积的比值。《现代科学技术词典》将材料的比重定义为:材料的密度和其一标准材料密度之比。这一定义更具有科学性和一般性。实际上,国外书刊上已直接用材料比重来定义土的比重了。

现在我们仍沿袭使用“比重”这个无量纲名词,作为土工试验中的专用名词来对待。但它有明确的定义:土粒比重是土粒在温度 105℃~110℃下烘至恒量时的质量与同体积 4℃时纯水质量的比值

这样既照顾了习惯用法,又有明确的科学定义,符合法定计量的有关规定。

从而有如下土粒比重 G_s 的表达式

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_{w4^\circ\text{C}}}$$

G_s ——土粒的比重;

m_s ——土粒的质量(g);

V_s ——土粒的体积(cm^3);

$\rho_{w4^\circ\text{C}}$ ——水在 4℃时的密度(g/cm^3)。

通常所说土的比重就是指土粒的比重。

一、比重瓶法 (JTG 3430-2020)

(一)目的和适用范围

本试验法适用于粒径小于 5mm 的土。

颗粒小于 5mm 的土用比重瓶法测定(颗粒大于 5mm 的土用浮力法、浮称法测定)。根据土的分散程度、矿物成分、水溶盐和有机质的含量又分别规定用纯水和中性液体测定。排气方法也根据介质的不同分别采用煮沸法和真空抽气法。

(二)仪器设备

1 比重瓶:容量 100(或 50)mL。

目前各单位多用 100mL 的比重瓶,也有采用 50mL 的。比较试验表明,瓶的大小对比重结果影响不大,但因 100mL 的比重瓶可以多取些试样,使试样的代表性和试验的精度提高,所以本规程建议采用 100mL 的比重瓶,但也允许采用 50mL 的比重瓶。

2 天平:称量 200g,感量 0.001g。

3 恒温水槽:灵敏度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

4 砂浴。

5 真空抽气设备。

6 温度计：刻度为 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，分度值为 0.5°C 。

7 其他：如烘箱、蒸馏水、中性液体(如煤油)、孔径 2mm 及 5mm 筛、漏斗、滴管等。

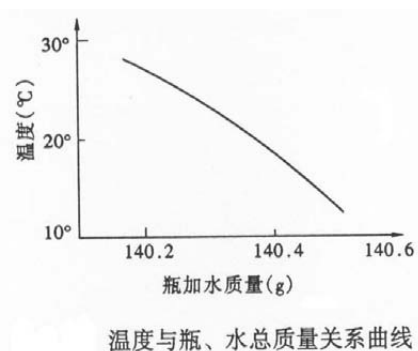
8 比重瓶校正。

比重瓶校正一般有两种方法：称量校正法和计算校正法。前一种方法精度比较高，后一种方法引入了某些假设，但一般认为对比重影响不大。本试验以称量校正法为准。

①将比重瓶洗净、烘干，称比重瓶质量，准确至 0.001g 。

②将煮沸后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，多余水分自瓶塞毛细管中溢出。调节恒温水槽至 5°C 或 10°C ，然后将比重瓶放入恒温水槽内，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 0.001g 。

③以 5°C 级差，调节恒温水槽的水温，逐级测定不同温度下的比重瓶、水总质量，至达到本地区最高自然气温为止。每级温度均应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 0.002g ，取两次测值的平均值。绘制温度与瓶、水总质量的关系曲线。



(三) 试验步骤

关于试样状态，规定用烘干土，但考虑到烘焙对土中胶粒有机质的影响尚无一致意见，所以这次规定一般应用烘干试样，也可用风干或天然湿度试样。一般规定有机质含量小于 5% 时，可以用纯水测定。

1 将比重瓶烘干，将 15g 烘干土装入 100mL 比重瓶内(若用 50mL 比重瓶，装烘干土约 12g)，称量。

2 为排除土中空气，将已装有干土的比重瓶，注蒸馏水至瓶的一半处，摇动比重瓶，土样浸泡 20h 以上，再将瓶在砂浴中煮沸，煮沸时间自悬液沸腾时算起，砂及低液限黏土应不少于 30min，高液限黏土应不少于 1h，使土粒分散。注意沸腾后调节砂浴温度，不使土液溢出瓶外。

排气方法，规程中仍选用煮沸法为主。如需用中性液体时，则采用真空抽气法。

3 如系长颈比重瓶，用滴管调整液面恰至刻度处(以弯月面下缘为准)，擦干瓶外及瓶内壁刻度以上部分的水，称瓶、水、土总质量。如系短颈比重瓶，将纯水注满，使多余水分自瓶塞毛细管中溢出，将瓶外水分擦干后，称瓶、水、土总质量，称量后立即测出瓶内水的温度，准确至 0.5°C 。

4 根据测得的温度，从已绘制的温度与瓶、水总质量关系曲线中查得瓶水总质量。

5 如系砂土，煮沸时砂粒易跳出，允许用真空抽气法代替煮沸法排除土中空气。

6 对含有某一定量的可溶盐、不亲性胶体或有机质的土,必须用中性液体(如煤油)测定,并用真空抽气法排除土中气体。真空压力表读数宜为 100kPa,抽气时间 1~2h(直至悬液内无气泡为止)。

从资料上看,易溶盐含量小于 0.5%时,用纯水和中性液体测得的比重几乎无差异。含盐量大于 0.5%时,比重值可差 1%以上,因此规定含盐量大于 0.5%时,用中性液体测定。

7 本试验称量应准确至 0.001g。

(四)结果整理

1 用蒸馏水测定时,按下式计算比重:

$$G_s = \frac{m_s}{m_1 + m_s - m_2} \times G_{wt}$$

式中: G_s ——土的比重,计算至 0.001;

m_s ——干土质量(g);

m_1 ——瓶、水总质量(g);

m_2 ——瓶、水、土总质量(g);

G_{wt} —— t ℃时蒸馏水的比重(水的比重可查物理手册),准确至 0.001。

2 用中性液体测定时,按下式计算比重:

$$G_s = \frac{m_s}{m'_1 + m_s - m'_2} \times G_{kt}$$

式中: G_s ——土的比重,计算至 0.001;

m'_1 ——瓶、中性液体总质量(g);

m'_2 ——瓶、土、中性液体总质量(g);

G_{kt} —— t ℃时中性液体比重(应实测),准确至 0.001。

3 本试验记录格式如表 T 0112.1。

表 T 0112-1 比重试验记录(比重瓶法)

工程名称		试验方法		试验日期								
试验者		计算者		校核者								
试验编号	比重瓶号	温度 (℃)	液体比重	比重瓶质量 (g)	瓶、干土总质量 (g)	干土质量 (g)	瓶、液总质量 (g)	瓶、液、土总质量 (g)	与干土同体积的液体质量 (g)	比重	平均比重值	备注
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)		
						(4) - (3)			(5) + (6) - (7)	$\frac{(5)}{(8)} \times (2)$		
	1	15.2	0.999	34.886	49.831	14.945	134.714	144.225	5.434	2.746	2.75	
	2	15.2	0.999	34.287	49.227	14.940	134.696	144.191	5.445	2.741		

4 精密度和允许差。

必须进行二次平行测定，取算术平均值，以两位小数表示，其平行差值不得大于 0.02。

(五)报告

1 土的鉴别分类和代号。

2 土的比重 G_s 值。

粗、细粒土混合料比重的测定，本规程规定分别测定粗、细粒土的比重，然后取加权平均值。

二、浮力法

比重试验的浮力法是建立在当前衡量技术高速发展的基础上。大称量、高精度、低感量天平的迅猛发展，使该试验方法成为现实。

(一)目的和适用范围

本试验目的是测定土颗粒的比重。本试验方法适用于粒径大于或等于 5mm 的土，且其中粒径大于或等于 20mm 的土质量应小于总土质量的 10%。

颗粒大于 5mm 的砾石、碎石等粗粒，颗粒本身有孔隙存在。孔隙又分封闭的与开敞的两部分。浸水时开敞部分为水所填充，封闭部分水不能浸入。因此，粗粒比重的种类通常以视比重、干比重、饱和面干比重和比重四种方法来表示。

规程中采用视比重，这样比较方便，因为一般指的孔隙，实际上是指被水充填的孔隙。

浮力法所测结果较为稳定。但大于 20mm 粗粒较多时，采用本方法将增加试验设备，室内使用不便。因此，规定粒径大于 5mm 的试样中大于或等于 20mm 颗粒含量小于 10%时用浮力法。

(二)仪器设备

1 浮力仪(含电子天平)：称量 1000g 以上，感量 0.001g；应附有孔径小于 5mm 的金属网篮，其直径为 10~15cm，高为 10~20cm；适合网篮沉入的盛水容器(图 T 0169-1)。

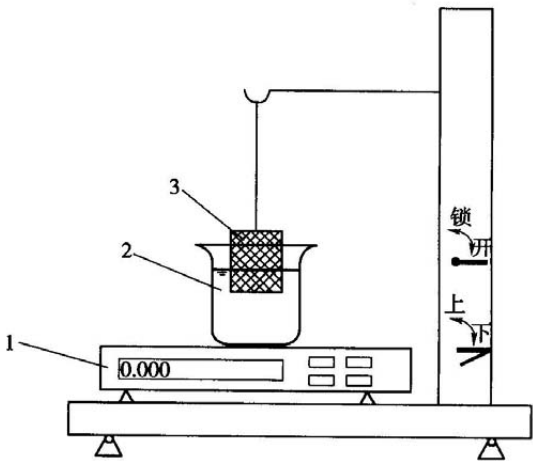


图 T 0169-1 浮力仪

1-电子天平;2-盛水容器;3-盛粗粒土的金属网篮

2 其他：烘箱、温度计、孔径 5mm 及 20mm 筛等。

(三) 试验步骤

- 1 取代表性试样 500~1000g(m_s)。彻底冲洗试样,直至颗粒表面无尘土和其他污物。
- 2 称烧杯和杯中水的质量 m_1 ,将金属网篮缓缓浸没于水中,再称烧杯、杯中水和悬没于水中的金属网篮的总质量,并立即测量容器内水的温度,准确至 0.5℃。计算出悬没于水中的金属网篮的浮力质量 m_2 。
- 3 将试样浸在水中一昼夜取出,立即放入金属网篮,缓缓浸没于水中,并在水中摇晃,至无气泡逸出时为止。
- 4 称烧杯、杯中水和悬没水中的金属网篮及试样的总质量 m_3 。并立即测量容器内水的温度,准确至 0.5℃。
- 5 取出试样烘干,称量。

(四) 结果整理

- 1 按下式计算土粒比重:

$$G_s = \frac{m_s}{m_3 - m_2 - m_1} \times G_{wt}$$

G_s ——土粒比重,计算至 0.001;

m_s ——干土质量(g);

m_1 ——烧杯和杯中水的质量(g);

m_2 ——悬没于水中的金属网篮的浮力质量(g);

m_3 ——烧杯、杯中水和悬没于水中的金属网篮及试样的总质量(g);

G_{wt} —— t ℃时水的比重,准确至 0.001。

- 2 本试验记录格式如表 T 0169-1。

表 T 0169-1 比重试验记录(浮力法)

工程名称_____					试验日期_____				
试 验 者_____			计 算 者_____			校 核 者_____			
野外 编号	室内 编号	温度	某一温 度下水 的比重	烘干土 质量	烧杯、杯中水和 悬没于水中的金属 网篮及试样的 浮力总质量	悬没于水中的 金属网篮的 浮力质量	烧杯和 杯中水 的质量	比重	平均值
		(℃)		m_s (g)	m_3 (g)	m_2 (g)	m_1 (g)		
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
	1								
	2								

3 按下式计算土料平均比重:

$$G_s = \frac{1}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}}}$$

式中: G_s ——土料平均比重, 计算至 0.01;

G_{s1} ——大于 5mm 土粒的比重;

G_{s2} ——小于 5mm 土粒的比重;

P_1 ——大于 5mm 土粒占总质量的百分数(%);

P_2 ——小于 5mm 土粒占总质量的百分数(%)。

4 精密度和允许差。

本试验必须进行二次平行测定, 取其算术平均值, 以两位小数表示, 其平行差值不得大于 0.02。

(五) 报告

1 土的鉴别分类和代号。

2 土的比重 G_s 值。

二、浮称法

(一) 目的和适用范围

本试验目的是测定土颗粒的比重。本试验方法适用于粒径大于或等于 5mm 的土, 且其中粒径大于或等于 20mm 的土质量应小于总土质量的 10%。

浮称法与浮力法的基本原理一样。

浮称法所测结果较为稳定, 但大于 20mm 粗粒较多时, 采用本方法将增加试验设备, 室内使用不便。因此, 规定粒径大于 5mm 的试样中大于或等于 20mm 颗粒含量小于 10% 时用浮称法。

(二) 仪器设备

1 静水力学天平(或物理天平): 称量 1000g 以上, 感量 0.001g; 应附有孔径小于 5mm 的金属网篮, 其直径为 10~15cm, 高为 10~20cm; 适合网篮沉入的盛水容器(图 T 0113.1)。

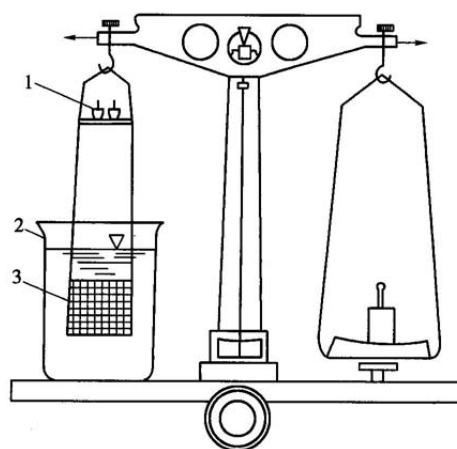


图 T 0113-1 浮称天平

1-调平衡砝码盘; 2-盛水容器; 3-盛粗粒土的金属网篮

2 其他: 烘箱、温度计、孔径 5mm 及 20mm 筛等。

(三) 试验步骤

- 1 取代表性试样 500~1000g。彻底冲洗试样，直至颗粒表面无尘土和其他污物。
- 2 将试样浸在水中一昼夜取出，立即放入金属网篮，缓缓浸没于水中，并在水中摇晃，至无气泡逸出时为止。
- 3 称金属网篮和试样在水中的总质量。
- 4 取出试样烘干，称量。
- 5 称金属网篮在水中质量，并立即测量容器内水的温度，准确至 0.5℃。

(四) 结果整理

- 1 按下式计算土粒比重：

$$G_s = \frac{m_s}{m_s - (m'_2 - m'_1)} \times G_{wt}$$

式中： G_s ——土粒比重，计算至 0.001；

m'_1 ——金属网篮在水中质量(g)；

m'_2 ——试样和金属网篮在水中总质量(g)；

m_s ——干土质量(g)；

G_{wt} —— t ℃时水的比重，准确至 0.001。

- 2 本试验记录格式如表 T 0113-1。

表 T 0113-1 比重试验记录(浮称法)

工程名称		试验日期							
试验者		计算者				校核者			
野外 编号	室内 编号	温度 (℃)	水的 比重	烘干土 质量 (g)	金属网篮 加试样在 水中质量 (g)	金属网篮 在水中质量 (g)	试样在 水中质量 (g)	比重	平均值
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
							(4) - (5)	$\frac{(3) \times (2)}{(3) - (6)}$	
	1	15.5 15.5	0.999 0.999	989.5 989.5	717.8 717.7	100 100	617.8 617.7	2.659 2.658	2.66
	2	15.0 15.0	0.999 0.999	989.5 989.5	718.5 718.7	100 100	618.5 618.7	2.664 2.665	2.67

3 按下式计算土料平均比重:

$$G_s = \frac{1}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}}} \quad (\text{T 0113-2})$$

式中: G_s ——土料平均比重, 计算至 0.01;

G_{s1} ——大于 5mm 土粒的比重;

G_{s2} ——小于 5mm 土粒的比重;

P_1 ——大于 5mm 土粒占总质量的百分数(%);

P_2 ——小于 5mm 土粒占总质量的百分数(%)。

4 精密度和允许差。

本试验必须进行二次平行测定, 取其算术平均值, 以两位小数表示, 其平行差值不得大于 0.02。

(四) 报告

1 土的鉴别分类和代号。

2 土的比重 G_s 值。

三、虹吸筒法

(一) 目的和适用范围

本试验目的是测定土颗粒的比重。本试验法适用于粒径大于或等于 5mm 的土, 且其中粒径大于或等于 20mm 土的含量大于或等于总土质量的 10%。

由于对粗颗粒的实体积测试不准, 所以虹吸筒法测得的结果不稳定, 测得的比重值一般偏小。一般只在粒径大于 5mm 的试样中大于或等于 20 哪的颗粒含量大于或等于 10%时, 才用虹吸筒法。

本试验方法测得的比重与浮力法和浮称法相同, 也为土粒的视比重。若要测定饱和面干比重, 亦采用虹吸筒法, 具体操作参考有关手册。

(二) 仪器设备

1 虹吸筒: 见图 T 0114-1。

2 台秤: 称量 10kg, 感量 1g。

3 量筒: 容积大于 2 000mL。

4 其他: 烘箱、温度计、孔径 5mm 及 20mm 的筛等。

(三) 试验步骤

1 取代表性试样 1000~7000g。将试样彻底冲洗, 直至颗粒表面无尘土和其他污物。

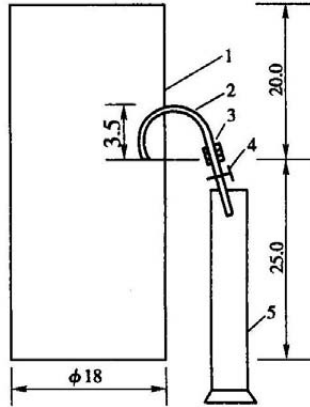


图 T 0114-1 虹吸筒(单位:cm)

1-虹吸筒; 2-虹吸管; 3-橡皮管; 4-管夹; 5-量筒

- 2 再将试样浸在水中一昼夜取出, 晾干(或用布擦干), 称量。
- 3 注清水入虹吸筒, 至管口有水溢出时停止注水。待管不再有水流出后, 关闭管夹, 将试样缓缓放入筒中, 边放边搅, 至无气泡逸出时为止, 搅动时勿使水溅出筒外。称量筒质量。
- 4 待虹吸筒中水面平静后, 开管夹, 让试样排开的水通过虹吸管流入筒中。
- 5 称量筒与水质量后, 测量筒内水的温度, 准确至 0.5℃。
- 6 取出虹吸筒内试样, 烘干, 称量。
- 7 本试验称量准确至 1g。

(四)结果整理

- 1 按下式计算比重:

$$G_s = \frac{m_s}{(m_1 - m_0) - (m - m_s)} \times G_{wt} \quad (T 0114-1)$$

式中: G_s ——土粒比重, 计算至 0.01;

m_s ——干土质量(g);

G_{wt} —— t ℃时水的比重, 准确至 0.001;

m ——晾干试样质量(g);

m_1 ——量筒加水总质量(g);

m_0 ——量筒质量(g)。

- 2 本试验记录格式如表 T 0114.1。

表 T 0114-1 比重试验记录(虹吸筒法)

工程名称		试验日期									
试验者		计算者					校核者				
野外编号	室内编号	温度 (℃)	水的 比重	烘干土 质量 (g)	风干土 质量 (g)	量筒 质量 (g)	量筒加 排开水 质量 (g)	排开水 质量 (g)	吸着水 质量 (g)	比重	平均值
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
								(6) - (5)	(4) - (3)	$\frac{(3) \times (2)}{(7) - (8)}$	
	1	15.5	0.999	1 979.0	2 000	272.4	1 040.0	767.7	21.0	2.647	2.65
		15.5	0.999	1 979.0	2 010	272.4	1 049.4	777.0	31.0	2.649	
	2	15.5	0.999	1 978.5	2 000	272.4	1 039.0	766.6	21.5	2.652	2.65
		15.5	0.999	1 970.0	2 000	272.4	1 045.0	772.0	30.5	2.651	

3 按下式计算土料平均比重:

$$G_s = \frac{1}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}}} \quad (\text{T 0114-2})$$

式中: G_s ——土料平均比重, 计算至 0.01;

G_{s1} ——大于 5mm 土粒的比重;

G_{s2} ——小于 5mm 土粒的比重;

P_1 ——大于 5mm 土粒占总质量的百分数(%);

P_2 ——小于 5mm 土粒占总质量的百分数(%)。

4 精密度和允许差。

本试验必须进行二次平行测定, 取其算术平均值, 以两位小数表示, 其平行差值不得大于 0.02。

(五) 报告

1 土的鉴别分类和代号。

2 土的比重 G_s 值。

需要补充说明的是, 比重瓶法仅能用作细粒土(小于 5mm)的比重测定, 但天然土常为粗、细颗粒混合而成, 尤其是在路堤填料中经常遇到。因此, 大于 5mm 的粗粒土用虹吸筒法测定比重。由于虹吸筒不能同时测定小于 5mm 颗粒的比重, 这样对全粒径土体就需要采用联合测定的方法。即分别采用比重瓶法和虹吸筒法(或浮力法、浮称法等)测定比重, 然后再求其加权平均值。若用虹吸筒法测定全粒径土时, 对于细土粒易悬浮于水中而为虹吸管所吸出, 同时在试验的过程中细粒部分易于丢失, 此外细粒土过多时会影响排气。在确定采用何种比重试验方法时, 应考虑在不影响结果精度的原则下, 尽量一次测定。因此, 当大于 5mm 土粒不多时可以直接用比重瓶法进行。

第 7 章 颗粒分析试验

土是各种颗粒粒径的集合体。它由固体、液体和气体三部分组成(称为三相系)。固体部分即为土颗粒,主要由矿物颗粒和有机质组成。土粒的矿物成分主要决定于母岩的成分及其所经受的风化(物理风化、化学风化和生物风化)作用。无黏性颗粒主要是由化学稳定的(如石英)或强度较小的原生矿物(如白云母、长石)所组成。黏粒主要是由次生矿物组成。较大的黏粒,主要成分为高岭石类矿物,较细的黏粒主要成分为蒙脱石、伊里石和高岭石等类矿物。

土中包含着各种大小和形状不同的颗粒,它们都属于土的颗粒组成部分。在工程上将各种几何尺寸相近、工程性质相似的土颗粒化分为若干组,称为粒组。所谓土的颗粒组成(或机械组成)就是土中各种粒组的相对含量,称为土的颗粒级配。通常用占总土质量的百分数(或小于某一粒径土质量占总土质量的百分数)表示。确定土的粒组的相对含量的方法,称为颗粒分析试验。

在工程实践中,最常用的颗粒分析试验有两大类:一是机械分析法,如筛析法;二是物理分析法,如密度计法、移液管法等等。前者适用于分析粒径大于 0.075mm 且不大于 60mm 的土颗粒,后者适用于分析粒径小于 0.075mm 的土颗粒。若土中粗细颗粒兼有,则联合采用筛析法及密度计法或移液管法。

土的颗粒大小与土的物理力学性质有着一定的关系。根据土的颗粒组成进行分类,可以概略地判定其透水性、可塑性、收缩、膨胀等物理力学性质。但是它还不能完全反映土的各种复杂性质,特别是对于黏性土,其矿物成分、颗粒形状以及胶体含量等都是影响土的物理力学性质的主要因素,同时颗粒分析结果本身在很大程度上取决于试样制备方法和试验方法等因素。所以对于黏性土来说,按塑性指数分类往往比按颗粒组成来分类更为恰当。

一、筛分法(JTG 3430-2020)

砂土及砂性土,由于其颗粒大小不同,风干含水率也不同,因而在不同程度上影响了过筛效率。按道理,颗粒分析时应采用烘干试样,但考虑到烘干试样在分析过程中仍不免吸收空气中的水分,同时采用风干试样其含水率对各粒组的含量影响较小,而且可以省略求含水率及换算干土重之烦,因此对砂土而言,通常多采用风干试样进行试验。

(一)目的和适用范围

本试验法适用于分析粒径大于 0.075mm 的土颗粒组成。对于粒径大于 60mm 的土样,本试验方法不适用。

当大于 0.075mm 的颗粒超过试样总质量的 15%时,应先进行筛分试验,然后经过洗筛,再用密度计法或移液管法进行试验。

(二)仪器设备

1、标准筛:粗筛(圆孔)孔径为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm;细筛孔径为 2.0mm、1.0mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm。

在最新修订的公路工程水泥混凝土和沥青混凝土以及基层集料的相应规范中,已将试验使用的圆孔筛改为方孔筛。筛孔几何形式的改变将对粗颗粒土的级配有一定的影响,并会带来其他指标的相应变化。按照面积等效圆进行换算,圆孔筛直径的面积等效圆直径约是对应方孔筛边长的 1.128 倍。

设方孔筛孔边长为 d ，另设该方孔筛的等效面积圆的直径为 D 。可知方孔筛的面积为 d^2 ，该方孔筛的等效面积圆的面积为 $1/4\pi D^2$ 。则有

$$d^2 = \frac{1}{4}\pi D^2$$

$$d = 0.886\ 226D$$

$$D = 1.128\ 38d$$

可见，若保证方孔筛的孔面积与圆孔筛的孔面积相同时，圆孔筛的最小尺寸 D (直径)比方孔筛的最小尺寸 d (边长)大 1.12838 倍。若保证方孔筛的孔边长 d 与对应圆孔筛的孔径 D 长度相同，则圆孔筛的面积仅仅是方孔筛面积的 0.886226 倍(或方孔筛的面积是圆孔筛面积的 1.12838 倍)。

2、天平：称量 5000g，感量 5g；称量 1000g，感量 1g；称量 200g，感量 0.2g。

3、摇筛机。

4、其他：烘箱、筛刷、烧杯、木碾、研钵及杵等。

分析筛的孔径，可根据试样颗粒的粗、细情况灵活选用。

(三)试样

从风干、松散的土样中，用四分法按照下列规定取出具有代表性的试样：

- 1、小于 2mm 颗粒的土 100~300g。
- 2、最大粒径小于 10mm 的土 300~900g。
- 3、最大粒径小于 20mm 的土 1000~2000g。
- 4、最大粒径小于 40mm 的土 2000~4000g。
- 5、最大粒径大于 40mm 的土 4000g 以上。

对于砾类土等颗粒较大的土样，按其最大颗粒决定试样数量，这样比较直观，易于掌握，又可得到比较有代表性的数据。

用风干土样进行筛分试验，按四分法取代表性试样，数量随粒径大小而异，粒径愈大，数量愈多。

(四)试验步骤

1、对于无凝聚性的土

对于无凝聚性的土样，可采用干筛法；对于含有部分黏土的砾类土，必须用水筛法，以保证颗粒充分分散。

①按规定称取试样，将试样分批过 2mm 筛。

②将大于 2mm 的试样按从大到小的次序，通过大于 2mm 的各级粗筛。将留在筛上的土分别称量。

③2mm 筛下的土如数量过多，可用四分法缩分至 100~800g。将试样按从大到小的次序通过小于 2mm 的各级细筛。可用摇筛机进行振摇。振摇时间一般为 10~15min。

④由最大孔径的筛开始，顺序将各筛取下，在白纸上用手轻叩摇晃，至每分钟筛下数量不大于该级筛余质量的 1% 为止。漏下的土粒应全部放入下一级筛内，并将留在各筛上的土样用软毛刷刷净，分别称量。

⑤筛后各级筛上和筛底土总质量与筛前试样质量之差，不应大于 1%。

⑥如 2mm 筛下的土不超过试样总质量的 10%，可省略细筛分析；如 2mm 筛上的土不超过试样总质量的 10%，可省略粗筛分析。

2、对于含有黏土粒的砂砾土

①将土样放在橡皮板上，用木碾将黏结的土团充分碾散，拌匀、烘干、称量。如土样过多时，用四分法称取代表性土样。

②将试样置于盛有清水的瓷盆中，浸泡并搅拌，使粗细颗粒分散。

③将浸润后的混合液过 2mm 筛，边冲边洗过筛，直至筛上仅留大于 2mm 以上的土粒为止。然后，将筛上洗净的砂砾风干称量。按以上方法进行粗筛分析。

④通过 2mm 筛下的混合液存放在盆中，待稍沉淀，将上部悬液过 0.075mm 洗筛，用带橡皮头的玻璃棒研磨盆内浆液，再加清水、搅拌、研磨、静置、过筛，反复进行，直至盆内悬液澄清。最后，将全部土粒倒在 0.075mm 筛上，用水冲洗，直到筛上仅留大于 0.075mm 砂为止。

⑤将大于 0.075mm 的净砂烘干称量，并进行细筛分析。

⑥将大于 2mm 颗粒及 2~0.075mm 的颗粒质量从原称量的总质量中减去，即为小于 0.075mm 颗粒质量。

⑦如果小于 0.075mm 颗粒质量超过总土质量的 10%，有必要时，将这部分土烘干、取样，另做密度计或移液管分析。

(四)结果整理

1、按下式计算小于某粒径颗粒质量百分数：

5.1 按下式计算小于某粒径颗粒质量百分数：

$$X = \frac{A}{B} \times 100 \quad (\text{T 0115-1})$$

式中： X ——小于某粒径颗粒的质量百分数(%)，计算至 0.01；

A ——小于某粒径的颗粒质量(g)；

B ——试样的总质量(g)。

2、当小于 2mm 的颗粒如用四分法缩分取样时，按下式计算试样中小于某粒径的颗粒质量占总土质量的百分数：

$$X = \frac{a}{b} \times p \times 100 \quad (\text{T 0115-2})$$

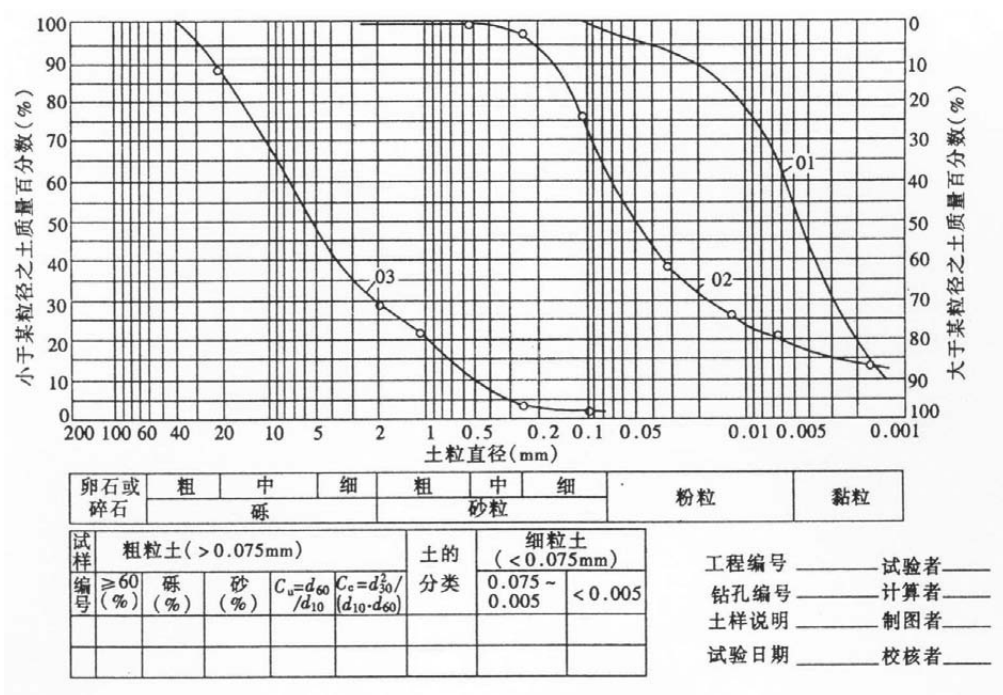
式中： X ——小于某粒径颗粒的质量百分数(%)，计算至 0.01；

a ——通过 2mm 筛的试样中小于某粒径的颗粒质量(g)；

b ——通过 2mm 筛的土样中所取试样的质量(g)；

p ——粒径小于 2mm 的颗粒质量百分数(%)。

3、在半对数坐标纸上，以小于某粒径的颗粒质量百分数为纵坐标，以粒径(mm)为横坐标，绘制颗粒大小级配曲线，求出各粒组的颗粒质量百分数，以整数(%)表示。



4、必要时按下式计算不均匀系数：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (\text{T 0115-3})$$

式中： C_u ——不均匀系数，计算至 0.1 且含两位以上有效数字；

d_{60} ——限制粒径，即土中小于该粒径的颗粒质量为 60% 的粒径 (mm)；

d_{10} ——有效粒径，即土中小于该粒径的颗粒质量为 10% 的粒径 (mm)。

5、本试验记录格式如表 T 0115-1。

6、精密度和允许差。

筛后各级筛上和筛底土总质量与筛前试样质量之差，不应大于 1%。

报告

1、土的鉴别分类和代号。

2、颗粒级配曲线。

3、不均匀系数 C_u 。

表 T 0115-1 颗粒分析试验记录(筛分法)

工程名称 _____				试验者 _____				
土样编号 _____				计算者 _____				
土样说明 _____				试验日期 _____ 校核者 _____				
筛前总土质量 = 3 000g				小于 2mm 取试样质量 = 810g				
小于 2mm 土质量 = 810g								
小于 2mm 土占总土质量 = 27%								
粗 筛 分 析				细 筛 分 析				
孔径 (mm)	累积留 筛土质量 (g)	小于该 孔径的 土质量 (g)	小于该 孔径土 质量百 分比 (%)	孔径 (mm)	累积留 筛土质量 (g)	小于该 孔径的 土质量 (g)	小于该 孔径土 质量百 分比 (%)	占总土质量 百分比 (%)
				2.0	2 190	810	100	27.0
60				1.0	2 410	590	72.8	19.7
40	0	3 000	100	0.5	2 740	260	32.1	8.7
20	350	2 650	88.3	0.25	2 920	80	9.9	2.7
10	920	2 080	69.3	0.075	2 980	20	2.5	0.7
5	1 600	1 400	46.7					
2	2 190	810	27.0					

通常将 d_{10} 称为有效粒径, 该粒径的大小与土的渗透性有显著的相关效应。将 d_{60} 称为限制粒径, 该粒径与土的强度有一定的相关性。

在工作中常遇到人们在说明筛孔时用筛号表述, 这是传统的习惯。筛号的定义是每英寸长度上有多少个筛孔, 就称这种筛为多少号筛。例如: 每英寸长度上有 60 个孔的筛称为 60 号筛(或称为 60 目筛, 孔径为 0.25mm, 100 目筛, 孔径为 0.15mm 等)。各筛号对应的孔径见表 T 0115-A。

二、密度计法

密度计法分析的原理

用密度计分析颗粒大小的分布是根据如下基本假定:

- (1)土颗粒在水中的下沉规律服从司笃克斯(Stoks)定律;
- (2)试验开始时土颗粒均匀地分布于水中;
- (3)使用的量筒直径要比密度计的直径大很多。

密度计法颗粒分析试验是将定量的土样和水混合制成悬液, 注入量筒中, 悬液容积为 1000mL。悬液经过搅拌, 大小颗粒均匀地分布于水中, 此时, 悬液的浓度上下一致。颗粒相同的土粒依照司笃克斯定律将以等速口下降, 经过 t 秒钟后所有粒径为 d 的颗粒下降的距离 $L=vt$, 因此, 所有大于 d 的颗粒已经下降到 L 平面以下, L 平面以上则仅有小于 d 的颗粒。靠近 L 平面上取一单位体积观察, 则该部分悬液中不大于 d 的颗粒分布情况与试验开始时完全一样。其中一部分颗粒降到 L 平面以下, 同一时间内又有一部分从上面降下来, 因此量得 L 深度处悬液的比重与原来悬液的比重相比较, 即可求出粒径小于 d 的颗粒占的百分数。在不同时间内量得不同 L 深度处的密度, 即可找出不同粒径的数量, 以绘成颗粒大小分布曲线。

密度计法也称比重计法。密度计分为甲种和乙种。甲种密度计读数表示 1000mL 悬液中的干土重；乙种密度计读数表示悬液比重。两种密度计的制造原理和使用方法基本相同。但是两种密度计在刻度时所采用的悬液温度标准不同(20℃/20℃，20℃/4℃)，因此，在密度计校准及土量百分比的计算公式中，有严格的区别，如不加以注意，将会造成错误。国家标准采用 20℃/20℃。由于密度计制造不一定规范，造成浮泡体积和刻度不准确，加之密度计的刻度是以纯水作为标准，当悬液加入分散剂后，则比重增大，故需要在使用前对刻度、弯月面、土粒沉降距离、温度、分散计等的影响进行校验。

(一)目的和适用范围

密度计法适用于分析粒径小于 0.075mm 的细粒土。

(二)仪器设备

2.1 密度计

2.1.1 甲种密度计：刻度单位以 20℃时每 1000mL 悬液内所含土质量的克数表示，刻度为-5~50，最小分度值为 0.5。

2.1.2 乙种密度计：刻度单位以 20℃时悬液的比重表示，刻度为 0.995~1.020，最小分度值为 0.0002。

2.2 量筒：容积为 1000mL 内径为 60mm，高度为 350mm±10mm，刻度为 0~1000mL。

2.3 细筛：孔径为 2mm、0.5mm、0.25mm；洗筛：孔径为 0.075mm。

2.4 天平：称量 100g，感量 0.1g；称量 100g(或 200g)，感量 0.01g。

2.5 温度计：测量范围 0~50℃，精度 0.5℃。

2.6 洗筛漏斗：上口直径略大于洗筛直径，下口直径略小于量筒直径。

2.7 煮沸设备：电热板或电砂浴。

2.8 搅拌器：底板直径 50mm，孔径约 3mm。

2.9 其他：离心机、烘箱、三角烧瓶(500mL)、烧杯(400mL)、蒸发皿、研钵、木碾、称量铝盒、秒表等。

由于不同浓度溶液的表面张力不同，弯月面的上升高度也不同，密度计在生产后其刻度与密度计的几何形状、质量等均有关。因此，需进行刻度、有效沉降距离和弯月面的校正。

(三)试剂

浓度 25%氨水、氢氧化钠(NaOH)、草酸钠(Na₂C₂O₄)、六偏磷酸钠[(NaPO₃)₆]、焦磷酸钠(Na₄P₄P₂O₇·10H₂O)等；如须进行洗盐手续，应有 10%盐酸、5%氯化钡、10%硝酸、5%硝酸银及 6%双氧水等。

本规程选用的试剂供作分散处理和洗盐之用，其中六偏磷酸钠和焦磷酸钠属强分散剂。

(四)试样

密度计分析土样应采用风干土。土样充分碾散，通过 2mm 筛(土样风干可在烘箱内以不超过 50℃鼓风干燥)。

求出土样的风干含水率，并按下式计算试样干质量为 30g 时所需的风干土质量。准确至 0.01g。

$$m = m_s(1 + 0.01w)$$

m ——风干土质量(g),计算至 0.01;
 m_s ——密度计分析所需干土质量(g);
 w ——风干土的含水率(%)。

密度计分析用的土样采用风干土,试样质量为 30g,即悬液浓度为 3%。

(五)密度计校正

密度计应进行温度、土粒比重和分散剂的校正。

1、密度计刻度及弯月面校正:按《标准玻璃浮计检定规程》(JIG 86---2001)进行。土粒沉降距离校正参见本试验条文说明。

2、温度校正:当密度计的刻制温度是 20℃,而悬液温度不等于 20℃时,应进行校正,校正值查表 T 0116-1。

表 T 0116-1 温度校正值

悬液温度 t (℃)	甲种密度计 温度校正值 m_t	乙种密度计 温度校正值 m'_t	悬液温度 t (℃)	甲种密度计 温度校正值 m_t	乙种密度计 温度校正值 m'_t
10.0	-2.0	-0.001 2	20.2	0.0	+0.000 0
10.5	-1.9	-0.001 2	20.5	+0.1	+0.000 1
11.0	-1.9	-0.001 2	21.0	+0.3	+0.000 2
11.5	-1.8	-0.001 1	21.5	+0.5	+0.000 3
12.0	-1.8	-0.001 1	22.0	+0.6	+0.000 4
12.5	-1.7	-0.001 0	22.5	+0.8	+0.000 5
13.0	-1.6	-0.001 0	23.0	+0.9	+0.000 6
13.5	-1.5	-0.000 9	23.5	+1.1	+0.000 7
14.0	-1.4	-0.000 9	24.0	+1.3	+0.000 8
14.5	-1.3	-0.000 8	24.5	+1.5	+0.000 9
15.0	-1.2	-0.000 8	25.0	+1.7	+0.001 0
15.5	-1.1	-0.000 7	25.5	+1.9	+0.001 1
16.0	-1.0	-0.000 6	26.0	+2.1	+0.001 3
16.5	-0.9	-0.000 6	26.5	+2.2	+0.001 4
17.0	-0.8	-0.000 5	27.0	+2.5	+0.001 5
17.5	-0.7	-0.000 4	27.5	+2.6	+0.001 6
18.0	-0.5	-0.000 3	28.0	+2.9	+0.001 8
18.5	-0.4	-0.000 3	28.5	+3.1	+0.001 9
19.0	-0.3	-0.000 2	29.0	+3.3	+0.002 1
19.5	-0.1	-0.000 1	29.5	+3.5	+0.002 2
20.0	-0.0	-0.000 0	30.0	+3.7	+0.002 3

3、土粒比重校正:密度计刻度应以土粒比重 2.65 为准。当试样的土粒比重不等于 2.65 时,应进行土粒比重校正。校正值查表 T 0116-2。

表 T 0116-2 土粒比重校正值

土粒比重	甲种密度计 C_G	乙种密度计 C'_G	土粒比重	甲种密度计 C_G	乙种密度计 C'_G
2.50	1.038	1.666	2.70	0.989	1.588
2.52	1.032	1.658	2.72	0.985	1.581
2.54	1.027	1.649	2.74	0.981	1.575
2.56	1.022	1.641	2.76	0.977	1.568
2.58	1.017	1.632	2.78	0.973	1.562
2.60	1.012	1.625	2.80	0.969	1.556
2.62	1.007	1.617	2.82	0.965	1.549
2.64	1.002	1.609	2.84	0.961	1.543
2.66	0.998	1.603	2.86	0.958	1.538
2.68	0.993	1.595	2.88	0.954	1.532

4、分散剂校正：密度计刻度系以纯水为准，当悬液中加入分散剂时，相对密度增大，故须加以校正。

注纯水入量筒，然后加分散剂，使量筒溶液达 1000mL。用搅拌器在量筒内沿整个深度上下搅拌均匀，恒温至 20°C。然后将密度计放入溶液中，测记密度计读数。此时密度计读数与 20°C 时纯水中读数之差，即为分散剂校正值。

(六) 土样分散处理

土样的分散处理，采用分散剂。对于使用各种分散剂均不能分散的土样(如盐渍土等)，须进行洗盐。

对于一般易分散的土，用 25% 氨水作为分散剂，其用量为：30g 土样中加氨水 1 mL。

对于用氨水不能分散的土样，可根据土样的 pH 值，分别采用下列分散剂：

1、酸性土(pH<6.5)，30g 土样加 0.5mol / L 氢氧化钠 20 mL。溶液配制方法：称取 20g NaOH(化学纯)，加蒸馏水溶解后，定容至 1000mL，摇匀。

2、中性土(pH=6.5~7.5)，30g 土样加 0.25 mol / L 草酸钠 18 mL。溶液配制方法：称取 33.5g $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (化学纯)，加蒸馏水溶解后，定容至 1000 mL，摇匀。

3、碱性土(pH>7.5)，30g 土样加 0.083mol / L 六偏磷酸钠 15mL。溶液配制方法：称取 51g $(\text{NaPO}_3)_6$ (化学纯)，加蒸馏水溶解后，定容至 1000mL，摇匀。

4、若土的 pH 大于 8，用六偏磷酸钠分散效果不好或不能分散时，则 30g 土样加 0.125mol / L 焦磷酸钠 14mL。溶液配制方法：称取 55.8g $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (化学纯)，加蒸馏水溶解后，定容至 1000mL，摇匀。

对于强分散剂(如焦磷酸钠)仍不能分散的土，可用阳离子交换树脂(粒径大于 2mm 的)100g 放入土样中一起浸泡，不断摇荡约 2h，再过 2mm 筛，将阳离子交换树脂分开，然后加入 0.083mol / L 六偏磷酸 15mL。交换后的树脂，加盐酸处理，使之恢复后，仍能继续使用。

对于可能含有水溶盐，采用以上方法均不能分散的土样，要进行水溶盐检验。其方法是：取均匀试样约 3g，放入烧杯内，注入 4~6mL 蒸馏水，用带橡皮头的玻璃棒研散，再加 25mL 蒸馏水，煮沸 5~10min，经漏斗注入 30mL 的试管中，塞住管口，放在试管架上静置一昼夜。若发现管中悬液有凝聚现象(在沉淀物上部呈松散絮绒状)，则说明试样中含有足以使悬液中土粒成团下降的水溶盐，要进行洗盐。

根据对分散剂和分散方法的试验研究结果，特对分散剂和分散方法作如下规定：

进行土的分散之前，用煮沸后的蒸馏水，按 1:5 的土水比浸泡土样，摇振 3min，澄清约半小时后，用酸度计或 pH 试纸测定土样悬液的 pH 值。按照酸性土($\text{pH} \leq 6.5$)、中性土($6.5 < \text{pH} < 7.5$)、碱性土($\text{pH} > 7.5$)分别选用分散剂。这样，就可避免采用一种分散剂所带来的偏差。

(七)洗盐(过滤法)

1、将分散用的试样放入调土皿内，注入少量蒸馏水，拌和均匀。将滤纸微湿后紧贴于漏斗上，然后将调土皿中土浆迅速倒入漏斗中，并注入热蒸馏水冲洗过滤。附于皿上的土粒要全部洗入漏斗。若发现滤液混浊，须重新过滤。

2、应经常使漏斗内的液面保持高出土面约 5mm。每次加水后，须用表面皿盖住。

3、为了检查水溶盐是否已洗干净，可用两个试管各取刚滤下的滤液 3~5mL，管中加入数滴 10% 盐酸及 5% 氯化钡；另一管加入数滴 10% 硝酸及 5% 硝酸盐。若发现任一管中有白色沉淀时，说明土中的水溶盐仍未洗净，应继续清洗，直至检查时试管中不再发现白色沉淀时为止。将漏斗上的土样细心洗下，风干取样。

本规程规定对易溶盐含量超过总量 0.5% 的土样须进行洗盐，采用过滤法。

洗盐的检验方法，本规程采用目测法。此外尚可采用“电导法”，其具体操作方法详见有关的试验规程。电导法效率高，操作方便、准确。它的原理是根据电导率在低浓度溶液范围内，与悬液中易溶盐成正比关系。由于导电率因盐性不同其值也不一，故对不同地区不同盐性的土类，应做标准样试验。

当对含有易溶盐超过 0.5% 的土进行密度计或移液管法颗粒分析时，若不洗盐，将对试验结果产生显著的影响，如表 T 0116.4 所示。

表 T 0116-4 盐渍土洗盐与不洗盐的比较(按密度计法)

省 区	土样号	含盐量(%)	粉粒含量(%) 0.05 ~ 0.005mm		黏粒含量(%) < 0.005mm	
			洗盐前	洗盐后	洗盐前	洗盐后
新疆	146	5.26	22.33	6.0	9.08	18.61
	147	14.66	17.23	13.10	40.04	41.17
甘肃	133	2.1	62.20	47.50	1.50	14.00
	142	2.19	54.50	43.50	0.50	14.00
	143	1.11	24.99	22.47	17.99	21.34
	149	5.13	20.79	7.21	5.25	16.52
	156	0.88	41.50	34.70	9.50	13.00

在实际工作中往往会遇到这样的情况：即试样虽然经过清洗仍然发现成絮状下降现象；或者滤液经过化学鉴定并无含盐反映，而在分析中则有成团下降现象发生。这种土多系含高价阳离子的碳酸盐类，比较常见的如碳酸钙。因为当土中细小颗粒，特别是胶质颗粒吸收钙离子时，能发生非可逆性的胶体性质和黏结效应，而将土粒胶结起来，以致能够抵抗水的破坏作用。所以对这种含盐土，只用清洗方法而不加化学处理，往往效果不好。

(A) 试验步骤

本规程所规定的试验步骤适用于甲、乙两种密度计。

- 1、将称好的风干土样倒入三角烧瓶中，注入蒸馏水 200mL，浸泡一夜。按前述规定加入分散剂。
- 2、将三角烧瓶稍加摇荡后，放在电热器上煮沸 40min(若用氨水分散时，要用冷凝管装置；若用阳离子交换树脂时，则不需煮沸)。
- 3、将煮沸后冷却的悬液倒入烧杯中，静置 1min。将上部悬液通过 0.075mm 筛，注入 1000mL 量筒中。杯中沉土用带橡皮头的玻璃棒细心研磨。加水入杯中，搅拌后静置 1min，再将上部悬液通过 0.075mm 筛，倒入量筒。反复进行，直至静置 1min 后，上部悬液澄清为止。最后将全部土粒倒入筛内，用水冲洗至仅有大于 0.075mm 净砂为止。注意量筒内的悬液总量不要超过 1000mL。
- 4、将留在筛上的砂粒洗入皿中，风干称量，并计算各粒组颗粒质量占总土质量的百分数。
- 5、向量筒中注入蒸馏水，使悬液恰为 1000mL(如用氨水作分散剂时，这时应再加入 25% 氨水 0.5mL，其数量包括在 1000mL 内)。
- 6、用搅拌器在量筒内沿整个悬液深度上下搅拌 1min,往返约 30 次，使悬液均匀分布。
- 7、取出搅拌器，同时开动秒表。测记 0.5min、1min、5min、15min、30min、60min、120min、240min 及 1440min 的密度计读数，直至小于某粒径的土重百分数小于 10% 为止。每次读数前 10~20s 将密度计小心放入量筒至约接近估计读数的深度。读数以后，取出密度计(0.5min 及 1min 读数除外)，小心放入盛有清水的量筒中。每次读数后均须测记悬液温度，准确至 0.5°C。
- 8、如一次做一批土样(20 个)，可先做完每个量筒的 0.5 min 及 1 min 读数，再按以上步骤将每个土样悬液重新依次搅拌一次。然后分别测记各规定时间的读数。同时在每次读数后测记悬液的温度。
- 9、密度计读数均以弯月面上缘为准。甲种密度计应准确至 1，估读至 0.1；乙种密度计应准确至 0.001，估读至 0.0001。为方便读数，采用间读法，即 0.001 读作 1，而 0.0001 读作 0.1。这样既便于读数，又便于计算。

(B) 结果整理

9.1 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比按下列公式计算：

9.1.1 甲种密度计

9.1.1 甲种密度计

$$X = \frac{100}{m_s} C_G (R_m + m_t + n - C_D)$$

$$C_G = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \times \frac{2.65 - \rho_{w20}}{2.65}$$

式中: X ——小于某粒径的土质量百分数(%), 计算至 0.1;

m_s ——试样质量(干土质量)(g);

C_G ——比重校正值, 查表 T 0116-2;

ρ_s ——土粒密度(g/cm^3);

ρ_{w20} ——20℃时水的密度(g/cm^3);

m_t ——温度校正值, 查表 T 0116-1;

n ——刻度及弯月面校正值;

C_D ——分散剂校正值;

R_m ——甲种密度计读数。

9.1.2 乙种密度计

9.1.2 乙种密度计

$$X = \frac{100V}{m_s} C'_G [(R'_m - 1) + m'_t + n' - C'_D] \rho_{w20}$$

$$C'_G = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}}$$

式中: X ——小于某粒径的土质量百分数(%), 计算至 0.1;

V ——悬液体积(=1 000mL);

m_s ——试样质量(干土质量)(g);

C'_G ——比重校正值, 查表 T 0116-2;

ρ_s ——土粒密度(g/cm^3);

n' ——刻度及弯月面校正值;

C'_D ——分散剂校正值;

R'_m ——乙种密度计读数;

ρ_{w20} ——20℃时水的密度(g/cm^3);

m'_t ——温度校正值, 查表 T 0116-1。

9.2 土粒直径按下列公式计算，也可按图 T 0116-1 确定。

$$d = \sqrt{\frac{1\,800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wt}) \rho_{w4} g}} \times \frac{L}{t}$$

式中： d ——土粒直径(mm)，计算至 0.000 1 且含两位有效数字；
 η ——水的动力黏滞系数(参见“渗透试验”)($10^{-6} \text{kPa} \cdot \text{s}$)；
 ρ_{w4} ——4℃时水的密度(g/cm^3)；
 G_s ——土粒比重；
 G_{wt} ——温度 t ℃时水的比重；
 L ——某一时间 t 内的土粒沉降距离(cm)；
 g ——重力加速度($981 \text{cm}/\text{s}^2$)；
 t ——沉降时间(s)。

为了简化计算，公式(T 0116-4)可写成：

$$d = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (\text{T 0116-5})$$

式中： K ——粒径计算系数 $\left(= \sqrt{\frac{1\,800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wt}) \rho_{w4} g}} \right)$ ，与悬液温度和土粒比重有关，其值见图 T 0116-2。

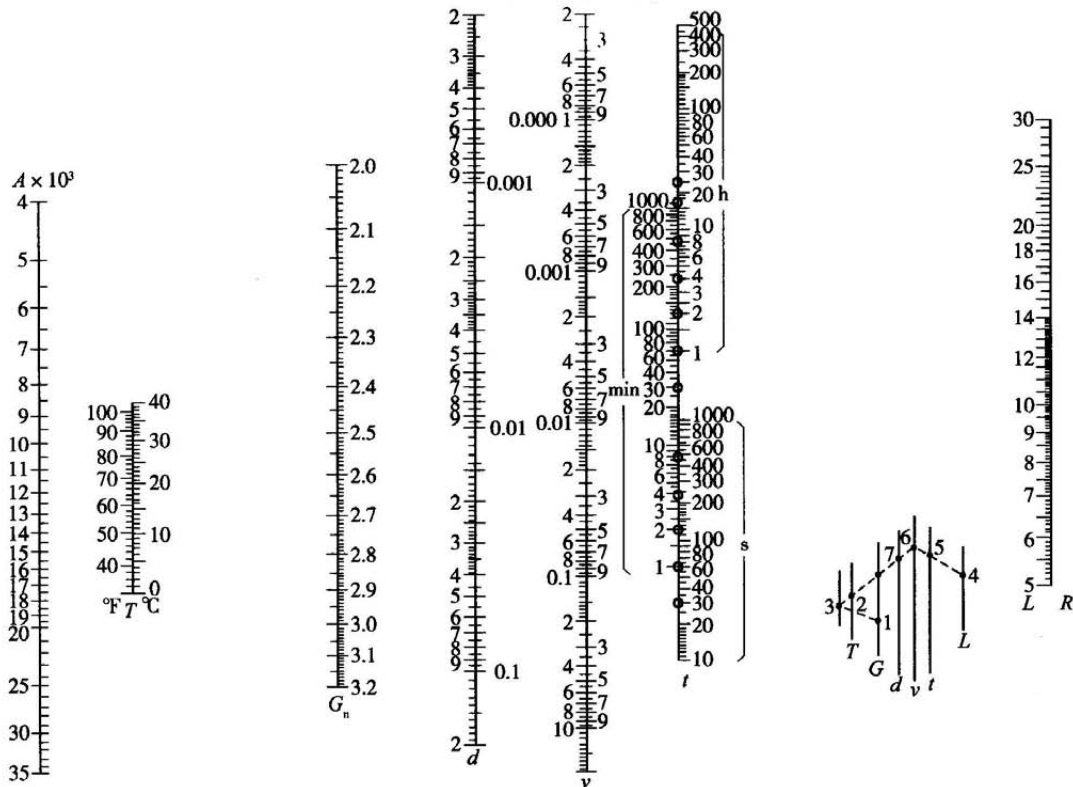


图 T 0116-1 土粒直径列线图

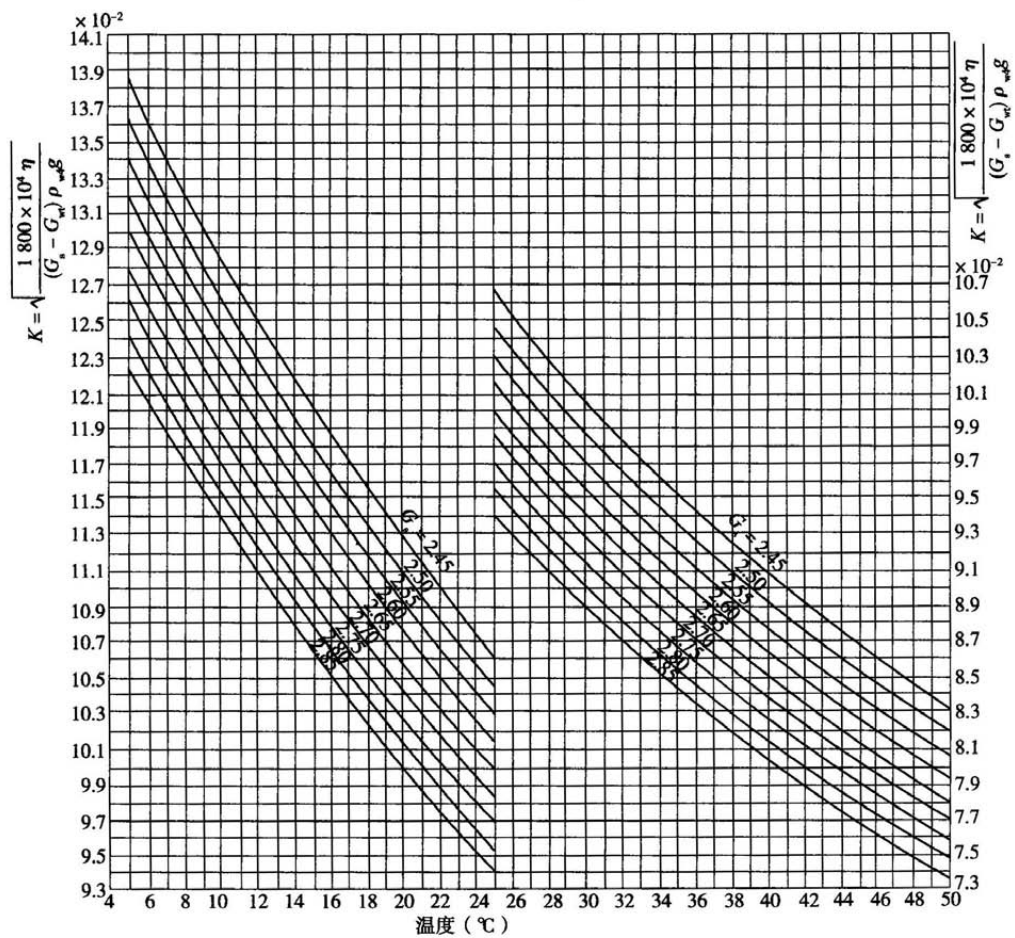


图 T 0116-2 粒径计算系数 K 值图

9.3 以小于某粒径的颗粒百分数为纵坐标，以粒径(mm)为横坐标，在半对数纸上，绘制粒径分配曲线(图 T 0116-3)。求出各粒组的颗粒质量百分数，并且不大于 d_{10} 的数据点至少有一个。

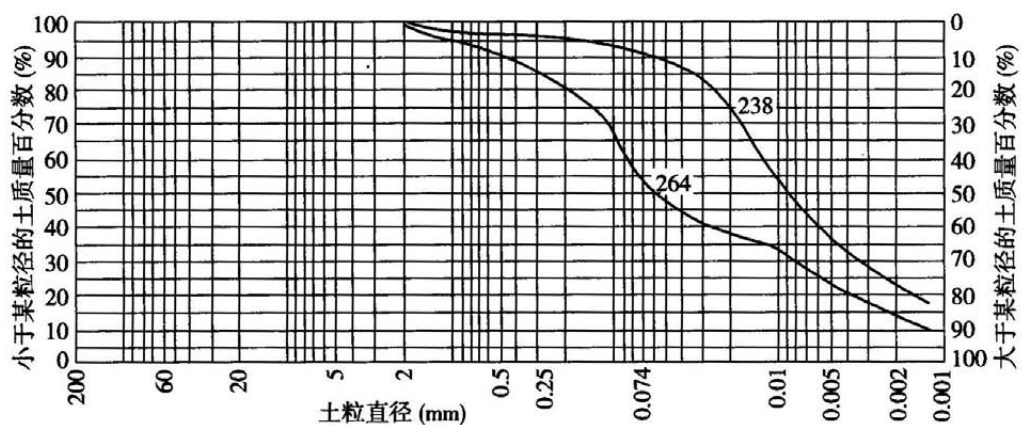


图 T 0116-3 粒径分配曲线

如系与筛分法联合分析，应将两段曲线绘成一平滑曲线。

表 T 0116-3 颗粒分析试验记录(甲种密度计)

工程名称_____ 土粒比重 2.74 试验者_____

土样编号_____ 比重校正_____ 计算者_____

土样说明_____ 密度计号 甲 4 校核者_____

烘干土质量_____ g 量筒编号_____ 试验日期_____

下沉 时间	悬液 温度	密度计 读数	温度 校正	分散剂 校正	刻度及 弯月面 校正	R	R_H	土粒沉 降落距	粒径	小于某粒 径的土质 量百分数
t (min)	t (°C)	R_m	m_t	C_D	n	$R_m + m_t + n - C_D$	RC_G	L (cm)	d (mm)	X (%)
0.5	19.50	29.7	-0.1	1.3	2.06	30.36	29.78	10.49	0.061 4	99.3
1	19.50	27.2	-0.1	1.3	2.10	27.90	27.37	12.25	0.046 9	91.2
5	19.50	23.6	-0.1	1.3	2.03	24.23	23.77	12.43	0.021 1	79.2
15	19.50	19.5	-0.1	1.3	2.00	20.10	19.72	12.94	0.012 4	65.7
30	20.00	15.7	0.0	1.3	2.08	16.48	16.17	13.23	0.008 8	53.9
60	20.00	9.4	0.0	1.3	1.95	10.05	9.86	13.93	0.006 4	32.9
120	20.00	4.8	0.0	1.3	2.10	5.60	5.49	14.19	0.004 6	18.3
240	20.00	2.4	0.0	1.3	1.92	3.02	2.96	15.74	0.003 4	9.9

(+)报告

10.1 土的鉴别分类和代号。

10.2 颗粒分析试验记录表。

10.3 土的颗粒级配曲线。

三、移液管法

移液管法是根据各种粒径在一定时间内下沉距离的关系来计算吸取悬液的时间和距离，国家标准用固定颗粒和吸取深度来计算时间。

(-)目的和适用范围

本试验方法适用于分析粒径小于 0.075mm 细粒土的组成。

本试验方法适用于粒径小而比重大的细粒土。

(-)仪器设备

2.1 分析天平：感量 0.001g。

2.2 移液管：为土的颗粒分析特制的 25mL 移液管，管端侧面开有四个小孔(图 T0117-1)。

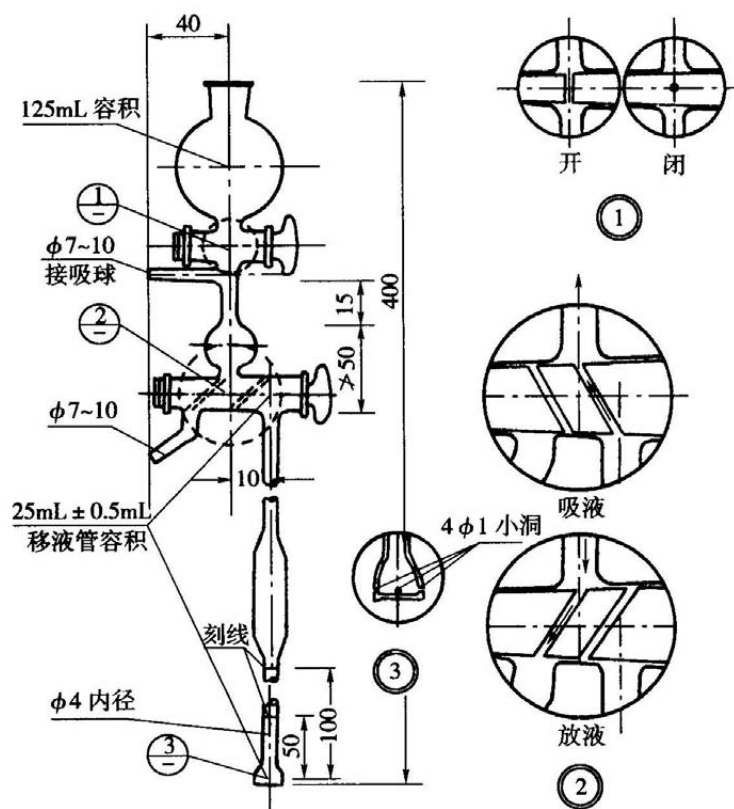


图 T 0117-1 移液管(单位:mm)

2.3 恒温水槽：高度应高于量筒。

2.4 1 000mL 量筒、50mL 小烧杯(高型)等，其他与密度计分析(T 0116--2007)相同。

移液管法不能保证吸取同一深度处的悬液，因此，我们将移液管端部略为放大，侧面加开四个小孔，既能保证悬液不致流失，又可吸取近似同一深度处平面的悬液。

(三) 试验步骤

3.1 取代表性试样，黏质土为 10~15g，砂类土为 20g，按密度计法(T 0116-2007)8.1~8.5 制取悬液。

3.2 将盛土样悬液的量筒放入恒温水槽，使悬液恒温至适当温度。试验中悬液温度变化不得大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。按式(T 0117-1)计算粒径小于 0.05mm、0.01mm、0.005mm 和其他所需粒径下沉一定深度所需的静置时间：

$$t = \frac{L}{\frac{2}{9} \times 10^{-4} \times g \times r^2 \times \frac{\rho_s - \rho_{wt}}{\eta}} \quad (\text{T 0117-1})$$

式中: t ——某粒径土粒下沉一定深度所需的静置时间(s), 计算至 0.01;

g ——重力加速度, 981cm/s^2 ;

r ——土粒半径 $\left(\frac{d}{2}\right)$ (cm)(原以 mm 表示的粒径在这里须化为 cm);

ρ_s ——土粒密度(g/cm^3);

ρ_{wt} —— t ℃时水的密度(g/cm^3);

η ——纯水的动力黏滞系数($10^{-6}\text{kPa}\cdot\text{s}$);

L ——移液管浸入悬液深度(10cm)。

3.3 准备好 50 mL 小烧杯, 称量, 准确至 0.001g。

3.4 准备好移液管, 活塞①应放在关闭位置上, 旋转活塞②应放在与移液管及吸球相通的位置上。

3.5 用搅拌器将悬液上下搅拌各约 30 次, 时间为 1min, 使悬液分布均匀。停止搅拌, 立即开动秒表。

3.6 根据各粒径的静置时间提前约 10s, 将移液管放入悬液中, 浸入深度为 10cm, 靠连接自来水管所产生的负压或用吸球来吸取悬液。

3.7 吸入悬液, 至略多于 25mL, 旋转活塞②180°, 使与放液管相通, 再将多余悬液从放液口放出。

3.8 将移液管下口放入已称量的小烧杯中, 再旋转活塞②180°, 使与移液管相通。同时用吸球将悬液(25mL)全部注入小烧杯内。在移液管上口预先倒入蒸馏水, 此时开活塞①, 使水流入移液管中, 再将这部分水连同管内剩余颗粒冲入小烧杯内。

3.9 将烧杯内悬液浓缩至半干, 放入烘箱内在 105~110℃温度下烘至恒量。称量小烧杯连同干土的质量, 准确至 0.001g。

温度越高, 悬液静置时间越短。在不同温度(40~60℃)下, 用移液管法和密度计法进行了比较试验, 结果表明, 误差不大, 但为保险起见, 采用 50℃没有问题。一般情况下, 可采用 40℃, 这样可以缩短试验时间。

如无恒温水槽, 则在室温变化不大的情况下(在测定时间内, 室温变化小于 0.5℃), 也可采用室温法。方法是将吸液深度从 10cm 减为 5cm, 按实际悬液温度计算某粒径的静置时间, 取此值的一半, 作为吸取悬液的时间。1000mL 或 2000mL 量筒均可采用。

(四)结果整理

4.1 土中小于某粒径的颗粒含量百分数按下式计算:

$$X = \frac{A \times 1\,000}{25 \times B} \times 100 \quad (\text{T 0117-2})$$

或

$$X = \frac{C}{B} \times 100, C = \frac{A \times 1\,000}{25} \quad (\text{T 0117-3})$$

式中: X ——小于某粒径的颗粒含量百分数(%), 计算至 0.1;

A ——25mL 悬液中小于某粒径的颗粒烘干质量(g);

B ——试样总质量(g);

C ——1 000mL 悬液中小于某粒径的颗粒总质量(g)。

如系与筛分法联合分析, 应将两段曲线绘成一平滑曲线。

4.2 本试验记录格式如表 T 0117—1。

表 T 0117-1 颗粒分析试验(移液管法)							
工程名称_____		> 0.075mm 颗粒含量(%)_____		试验者_____			
土样编号_____		< 0.075mm 颗粒含量(%)_____		计算者_____			
土样说明_____		试验日期_____		校核者_____			
总干土质量9.8g		取样深度10cm		土粒比重2.65			
粒径 (mm)	杯号	杯 + 土质量 (g)	杯质量 (g)	25mL 吸管 内土质量 (g)	1 000mL 量筒 内土质量 (g)	小于某粒径土 质量百分数 (%)	小于某粒径土 质量占总土 质量百分数 (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
				(3) - (4)	$\frac{9.8}{100} \times (7)$		
0.05	A	30.032 4	29.787 4	0.245 0	9.80	100.0	
0.01	B	20.303 4	20.168 6	0.134 8	5.39	55.0	
0.005	C	22.066 5	21.953 8	0.112 7	4.51	46.0	
0.001	D	23.247 5	23.164 2	0.083 3	3.33	34.0	

(五)报告

5.1 土的鉴别分类和代号。

5.2 颗粒分析试验记录表。

5.3 土的颗粒级配曲线。

移液管法主要是首先称取一定量的干土质量 m_d ，按比重计法进行处理后，倒入量筒搅拌均匀，再从量筒中吸取一定体积的悬液注入烧杯，然后烘干、称量。因此，在悬液中小于某一约定粒径的土粒质量 m_0 等于被吸取的土粒干质量 m'_d 乘以悬液总体积 V 与被吸取悬液体积 V_1 之比，即：

$$m_0 = m'_d \frac{V}{V_1}$$

小于某一粒径的土粒质量的百分数为：

$$X(\%) = \frac{m_0}{m_d} = \frac{m'_d V}{m_d V_1} \times 100$$

第 8 章 界限含水率试验

当黏性土中含水率发生变化时，土的状态就随之而变。如土的含水率由少变多时，土体便从固态转变为半固态、塑态以致成为液态，土的体积随之变大。反之，当土的含水率由多变少，土的物理状态出现相反的变化，体积就会缩小。这种状态的变化，反映了土粒与水相互作用的结果，也表明含水率变化对于黏性土的物理力学性质的影响。1911 年瑞典科学家阿太堡(Atterberg)将土从液限过渡到固态的过程划分为五个阶段，规定了各个界限含水率，称为阿太堡限度。

一定状态的黏性土表现出一定的物理力学性质。表征黏性土在某一含水率下所具有的状态，就叫稠度状态。所谓土的稠度状态就是土的软硬状态，工程中常以坚硬、可塑或流塑等术语加以描述。描述这些稠度状态的界限的含水率称为稠度界限，简称为界限含水率。如液性界限、塑性界限和收缩界限，分别简称为液限、塑限和缩限。

应当注意的是，界限含水率的概念是基于土体的结构已被破坏的含义基础之上。

一、液限和塑限联合测定法(JTG 3430-2020)

联合测定法的理论根据

联合测定法的理论依据是圆锥入土深度与相应含水率在双对数坐标上具有直线关系，根据极限平衡理论求得。如图 T 0118-C 所示，

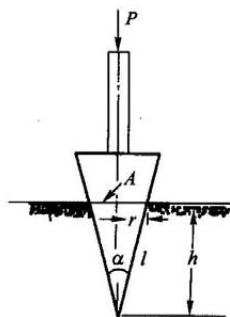


图 T 0118-C 圆锥仪

设 P 代表圆锥的重力， h 表示土样表面到锥尖的深度， A 代表锥与土接触面积，则沿此表面的极限剪应力等于：

$$\tau = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{A}$$

式中： α ——圆锥的顶角；

$$A = \pi r l = \pi h^2 \tan \frac{\alpha}{2} / \cos \frac{\alpha}{2}。$$

所以

$$\tau = \frac{P \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\pi h^2 \tan \frac{\alpha}{2}} = CP/h^2$$

式中： C ——圆锥形状系数。

(一)目的和适用范围

1.1 本试验的目的是联合测定土的液限和塑限，用于划分土类、计算天然稠度和塑性指数，供公路工程设计和施工使用。

1.2 本试验适用于粒径不大于 0.5mm、有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。

(二)仪器设备

2.1 圆锥仪：锥质量为 100g 或 76g，锥角为 30°，读数显示形式宜采用光电式、数码式、游标式、百分表式。

2.2 盛土杯：直径 50mm，深度 40~50mm。

2.3 天平：称量 200g，感量 0.01g。

2.4 其他：筛(孔径 0.5mm)、调土刀、调土皿、称量盒、研钵(附带橡皮头的研杵或橡皮板、木棒)、干燥器、吸管、凡士林等。

液限塑限联合测定仪有数码式、光电式、游标式和百分表式四种。本规程并列这四种仪器，可根据具体情况选用。

(三)试验步骤

3.1 取有代表性的天然含水率或风干土样进行试验。如土中含大于 0.5mm 的土粒或杂物时，应将风干土样用带橡皮头的研杵研碎或用木棒在橡皮板上压碎，过 0.5mm 的筛。

取 0.5mm 筛下的代表性土样 200g，分开放入三个盛土皿中，加不同数量的蒸馏水，土样的含水率分别控制在液限(a 点)、略大于塑限(c 点)和二者的中间状态(6 点)。用调土刀调匀，盖上湿布，放置 18h 以上。测定 a 点的锥入深度，对于 100g 锥应为 $20\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，对于 76g 锥应为 17mm。测定 c 点的锥入深度，对于 100g 锥应控制在 5mm 以下，对于 76g 锥应控制在 2mm 以下。对于砂类土，用 100g 锥测定 c 点的锥入深度可大于 5mm，用 76g 锥测定 c 点的锥入深度可大于 2mm。

3.2 将制备的土样充分搅拌均匀，分层装入盛土杯，用力压密，使空气逸出。对于较干的土样，应先充分搓揉，用调土刀反复压实。试杯装满后，刮成与杯边齐平。

3.3 当用游标式或百分表式液限塑限联合测定仪试验时，调平仪器，提起锥杆(此时游标或百分表读数为零)、锥头上涂少许凡士林。

3.4 将装好土样的试杯放在联合测定仪的升降座上，转动升降旋钮，待锥尖与土样表面刚好接触时停止升降，扭动锥下降旋钮，同时开动秒表，经 5s 时，松开旋钮，锥体停止下落，此时游标读数即为锥入深度 h_1 。

3.5 改变锥尖与土接触位置(锥尖两次锥入位置距离不小于 1cm)，重复本试验 3.3 和 3.4 步骤，得锥入深度 h_2 。 h_1 、 h_2 允许平行误差为 0.5mm，否则，应重做。取 h_1 、 h_2 平均值作为该点的锥入深度 h 。

3.6 去掉锥尖入土处的凡士林，取 10g 以上的土样两个，分别装入称量盒内，称质量(准确至 0.01g)，测定其含水率 w_1 、 w_2 (计算到 0.1%)。计算含水率平均值 w 。

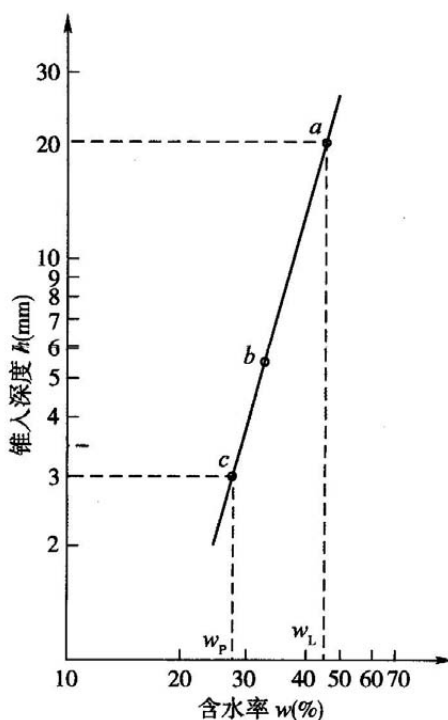
3.7 重复本试验 3.2~3.6 步骤，对其他两个含水率土样进行试验，测其锥入深度和含水率。

3.8 用光电式或数码式液限塑限联合测定仪测定时，接通电源，调平机身，打开开关，提上锥体(此时刻度或数码显示应为零)。将装好土样的试杯放在升降座上，转动升降旋钮，试杯徐徐上升，土样表面和锥尖刚好接触，指示灯亮，停止转动旋钮，锥体立刻自行下沉，5s 时，自动停止下落，读数窗上或数码管上显示锥入深度。试验完毕，按动复位按钮，锥体复位，读数显示为零。

试样制备好坏对液限塑限联合测定的精度具有头等重要意义。制备试样应均匀、密实。一般制备三个试样。一个要求含水率接近液限(入土深度 $20\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$)，一个要求含水率接近塑限。一个居中。否则，就不容易控制曲线的走向。对于联合测定精度最有影响的是靠近塑限的那个试样。可以先将试样充分搓揉，再将土块紧密地压入容器，刮平，待测。当含水率等于塑限时，对控制曲线走向最有利，但此时试样很难制备，必须充分搓揉，使土的断面上无孔隙存在。为便于操作，根据实际经验含水率可略放宽，以入土深度不大于 $4\sim 5\text{mm}$ 为限。

(四)结果整理

4.1 在双对数坐标上，以含水率 w 为横坐标，锥入深度 h 为纵坐标，点绘 a 、 b 、 c 三点含水率的 $h \sim w$ 图(图 T 0118-1)。连此三点，应呈一条直线。如三点不在同一直线上，要通过 a 点与 b 、 c 两点连成两条直线，根据液限(a 点含水率)在 $h_p \sim w_l$ 图上查得 h_p ，以此 h_p 再在 $h \sim w$ 的 ab 及 ac 两直线上求出相应的两个含水率。当两个含水率的差值小于 2% 时，以该两点含水率的平均值与 a 点连成一直线。当两个含水率的差值不小于 2% 时，应重做试验。



T0118-1 锥入深度与含水率($h \sim w$)关系

原规程中对两个含水率的差值小于或大于 2% 有处理方法，但对于两个含水率的差值等于 2% 时，没有指出明确的解决方法，这样就形成了一个问题的空白点。为此，修订后的规程将“两个含水率的差值大于 2% ”修订为“两个含水率的差值不小于 2% ”。这样逻辑性就完整了，同时与国标也相同。

4.2 液限的确定方法

4.2.1 若采用 76g 做液限试验，则在 $h \sim w$ 图上，查得纵坐标入土深度 $h=17\text{mm}$ 所对应的横坐标的含水率 w ，即为该土样的液限 w_L 。

4.2.2 若采用 100g 锥做液限试验，则在 $h \sim w$ 图上，查得纵坐标入土深度 $h=20\text{mm}$ 所对应的横坐标的含水率 w ，即为该土样的液限 w_L 。

修订后的规程将 100g 锥入土 20mm(原《93 规程》规定)和 76g 锥入土 17mm(国标规定)求液限同时列入,是因为这两种锥的试验方法所得结果基本相同。而 100g 锥入土 20mm 为液限只有交通系统使用,这样列出就可使试验人员了解这两种方法所具有的共性,便于技术交流和数据对比。这里需要说明的是,大量对比试验研究表明,76g 锥入土 17.4mm 所得液限值与 100g 锥入土 20mm 所得液限值完全相同。

4.3 塑限的确定方法

4.3.1 根据本试验 4.2.1 求出的液限,通过 76g 锥入土深度 h 与含水率 w 的关系曲线(图 T 0118-1),查得锥入土深度为 2mm 所对应的含水率即为该土样的塑限 w_p

4.3.2 根据本试验 4.2.2 求出的液限,通过液限 w_L 与塑限时入土深度 h_p 的关系曲线(图 T 0118—2),查得 h_p ,

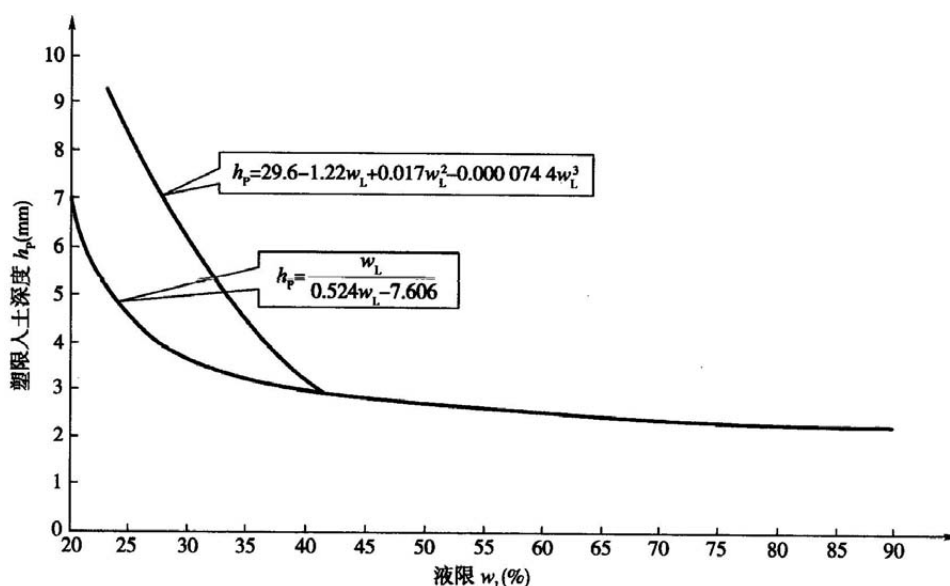


图 T 0118-2 h_p-w_L 关系曲线

再由图 T 0118-1 求出入土深度为 h_p 时所对应的含水率,即为该土样的塑限 w_p 。查 h_p-w_L 关系图时,须先通过简易鉴别法及筛分法(见土的工程分类及 T 0115-1993)把砂类土与细粒土区别开来,再按这两种土分别采用相应的 h_p-w_L 关系曲线;对于细粒土,用双曲线确定 h_p 值;对于砂类土,则用多项式曲线确定 h_p 值。

若根据本试验 4.2.2 求出的液限,当 a 点的锥入深度在 $20\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 范围内时,应在 ad 线上查得入土深度为 20mm 处相对应的含水率,此为液限 w_L 。再用此液限在“图 T 0118—2 h_p-w_L 关系曲线”上找出与之相对应的塑限入土深度 h'_p ,然后到 $h-w$ 图 ad 直线上查得 h'_p 相对应的含水率,此为塑限 w_p 。

首先需要测定 $h_L=20\text{mm}$ 时土的液限 w_L ,然后分别按砂类土和细粒土的公式计算相应的 h_p 值。于是,塑限值可直接从 $h-w$ 图上读出。

在 $h-w$ 双对角坐标纸上,当 a、b、c 三点不在同一直线上时,《土工试验方法标准》(GB / T 50123—1999)规定按固定 h_p 值($h_p=2\text{mm}$)确定 ab、ac 两直线交点处的两个含水率,本试验(T 0118—2007)第 4 条规定按变数 h_p 值确定 ab、ac 直线交点处的两个含水率;显然,后者更为合理,因为 h_p 值随土质而异。

4.4 本试验记录格式如表 T 0118-1

表 T 0118-1 液限塑限联合试验记录					
工程名称		试验者			
土样编号		计算者			
取土深度		校核者			
土样设备		试验日期			
试验次数		1	2	3	
试验项目					
入土深度	h_1	4.68	9.81	19.88	
	h_2	4.73	9.79	20.12	
	$\frac{1}{2}(h_1 + h_2)$	4.71	9.80	20	
含水率	盒号				双曲线法 w_p I_p
	盒质量(g)	20			
	盒 + 湿土质量(g)	25.86	27.49	30.62	搓条法 27.2 14.0
	盒 + 干土质量(g)	24.51	25.52	27.53	
	水分质量(g)	1.35	1.97	3.09	液限 $w_L = 41.2$
	干土质量(g)	4.51	5.52	7.53	
	含水率(%)	29.9	35.7	41.04	

4.5 精密度和允许差。

本试验须进行两次平行测定，取其算术平均值，以整数(%)表示。其允许差值为：高液限土小于或等于 2%，低液限土小于或等于 1%。

(四)报告

5.1 土的鉴别分类和代号。

5.2 土的液限 w_L 、塑限 w_p 和塑性指数 I_p 。

二、液限碟式仪法

国内采用碟式仪测定液限的单位极少。美国、日本以及欧洲国家均采用碟式仪测定液限。虽然各国都采用卡氏碟式仪为标准，但其仪器规格仍有差别。现有的比较试验资料表明：碟的质量、槽刀形状及基座材料的弹性对成果影响较大。英国所用碟式仪的基座材料为硬橡胶，美国推荐用硬塑料，两者测得的液限含水率略有差别。由于仪器规格不同，因此所测得的强度也有所不同。我国以往采用的是国际上应用较广的 ASTM 标准的液限仪及 A 型槽刀，见图 T 0170—2。

(一)目的和适用范围

本试验的目的是按碟式液限仪法测定土的液限，适用于粒径小于 0.5mm 以及有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。

(二)仪器设备

2.1 碟式液限仪：由土碟和支架组成专用仪器，并有专用划刀，如图 T 0170-1，底座应为硬橡胶制成。

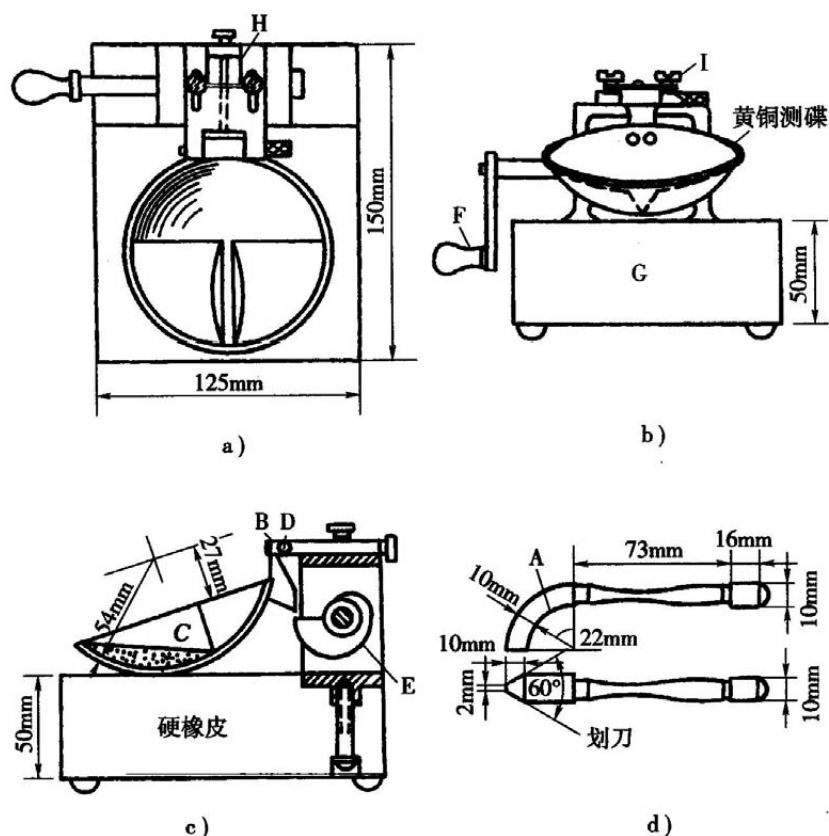


图 T 0170-1 碟式液限仪

A-划刀;B-销子;C-土碟;D-支架;E-蜗轮;F-摇柄;G-底座;H-调整板;I-螺丝

2.2 天平：称量 200g，分度值 0.01g。

2.3 其他：烘箱、干燥缸、铝盒、调土刀、筛(孔 0.5mm)等。

(三)试验步骤

3.1 取过 0.5mm 筛的土样(天然含水率的土样或风干土样均可)约 100g，放在调土皿中，按需要加纯水，用调土刀反复拌匀。

3.2 取一部分试样，平铺于土碟的前半部，如图 T0170.1a)所示。铺土时应防止试样中混入气泡。用调土刀将试样面修平，使最厚处为 10mm，多余试样放回调土皿中。以蜗形轮为中心，用划刀自后至前沿土碟中央将试样划成槽缝清晰的两半[图 T 0170-2a]。为避免槽缝边扯裂或试样在土碟中滑动，允许从前至后，再从后至前多划几次，将槽逐步加深，以代替一次划槽，最后一次从后至前的划槽能明显地接触碟底。但应尽量减少划槽的次数。

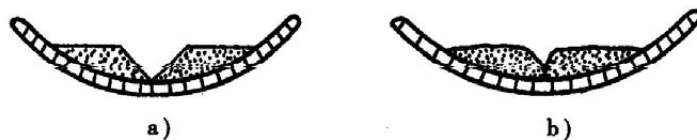


图 T 0170-2 划槽及合拢状态

a)试前划成两半;b)试后合拢情况

3.3 以每秒 2 转的速率转动摇柄 F，使土碟反复起落，坠击于底座 G 上，数记击数，直至试样两边在槽底的合拢长度为 13mm 为止，记录击数，并在槽的两边采取试样 10g 左右，测定其含水率。

3.4 将土碟中的剩余试样移至调土皿中，再加水彻底拌和均匀，按本试验 3.1~3.3 的规定至少再做两次试验。这两次土的稠度应使合拢长度为 13mm 时所需击数在 15~35 次之间(25 次以上及以下各 1 次)。然后测定各击次下试样的相应含水率。

四、结果整理

4.1 按式(T 0170-1)计算各击次下合拢时试样的相应含水率：

$$w_n = \left(\frac{m_n}{m_s} - 1 \right) \times 100$$

式中： w_n —— n 击下试样的含水率(%)，计算至 0.01；

m_n —— n 击下试样的质量(g)；

m_s ——试样的干土质量(g)。

4.2 本试验记录格式如表 T 0170-1。

表 T 0170-1 液限碟式仪法试验记录

工程编号		试验者	
土样说明		计算者	
试验日期		校核者	
盒 号		1	2
盒质量 (g)	(1)	20	20
盒 + 湿土质量 (g)	(2)	38.87	40.54
盒 + 干土质量 (g)	(3)	35.45	36.76
水分质量 (g)	(4) = (2) - (3)	3.42	3.78
干土质量 (g)	(5) = (3) - (1)	15.45	16.76
液限含水率 (%)	(6) = $\frac{(4)}{(5)}$	22.1	22.6
平均液限含水率 (%)	(7)	22.4	

4.3 根据试验结果，以含水率为纵坐标，以击次的对数为横坐标，绘制曲线，如图 T 017-3。查得曲线上击数 25 次所对应的含水率，即为该试样的液限。

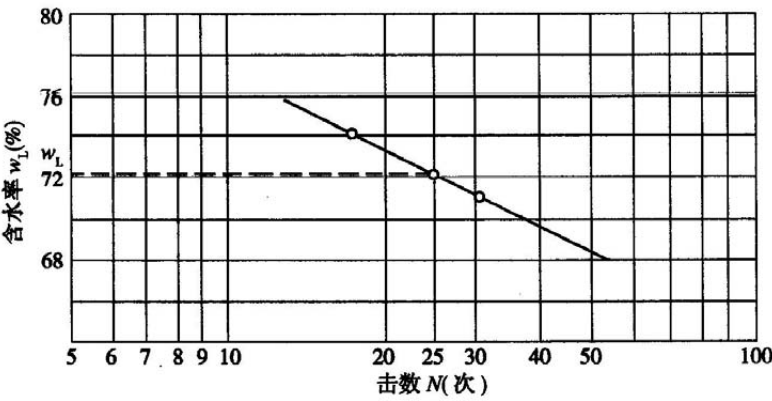


图 T 0170-3 含水率与击数关系曲线

4.4 精密度和允许差。

本试验须进行两次平行测定，取其算术平均值，以整数(%)表示。其允许差值为：高液限土小于或等于 2%，低液限土小于或等于 1%。

(五)报告

5.1 土的鉴别分类和代号。

5.2 土的液限值。

三、塑限滚搓法

塑限试验长期以来采用滚搓法。该法虽存在许多缺点，如标准不易掌握，人为因素较大，但由于该试验法的物理概念明确，且试验人员已在实践中积累了许多经验，国际上有很多国家采用此法。故本规程将滚搓法列入塑限的校核试验方法。

(一)目的和适用范围

本试验的目的是按滚搓法测定土的塑限，适用于粒径小于 0.5mm 以及有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。

(二)仪器设备

2.1 毛玻璃板：尺寸宜为 200mm×300mm。

2.2 天平：感量 0.01g。

2.3 其他：烘箱、干燥器、称量盒、调土皿、直径 3mm 的铁丝等。

关于滚搓工具，有的单位认为毛橡皮板同样能得出满意的结果，在无毛玻璃板的情况下。也允许用毛橡皮板。

(三)试验步骤

3.1 按本规程(T 0118—1993)3.1 条制备试样，一般取土样约 50g 备用。为在试验前使试样的含水率接近塑限，可将试样在手中捏揉至不粘手为止，或放在空气中稍为晾干。

3.2 取含水率接近塑限的试样一小块，先用手搓成椭圆形，然后再用手掌在毛玻璃板上轻轻搓滚。搓滚时须以手掌均匀施压力于土条上，不得将土条在玻璃板上进行无压力的滚动。土条长度不宜超过手掌宽度，并在滚搓时不应从手掌下任一边脱出。土条在任何情况下不允许产生中空现象。

3.3 继续搓滚土条，直至土条直径达 3mm 时，产生裂缝并开始断裂为止。若土条搓成 3mm 时仍未产生裂缝及断裂，表示这时试样的含水率高于塑限，则将其重新捏成一团，重新搓滚；如土条直径大于 3mm 时即行断裂，表示试样含水率小于塑限，应弃去，重新取土加适量水调匀后再搓，直至合格。若土条在任何含水率下始终搓不到 3mm 即开始断裂，则认为该土无塑性。

3.4 收集约 3~5g 合格的断裂土条，放入称量盒内，随即盖紧盒盖，测定其含水率。

(四)结果整理

4.1 按下式计算塑限：

$$w_p = \left(\frac{m_1}{m_2} - 1 \right) \times 100$$

式中： w_p --塑限(%), 计算至 0.1；

m_1 --湿土质量(g)；

m_2 --干土质量(g)。

4.2 本试验记录格式如表 T 0119-1。

表 T 0119-1 塑限滚搓法试验记录

工程编号 _____		试验者 _____	
土样说明 _____		计算者 _____	
试验日期 _____		校核者 _____	

盒 号		1	2
盒质量 (g)	(1)	20	20
盒 + 湿土质量 (g)	(2)	38.87	40.54
盒 + 干土质量 (g)	(3)	35.45	36.76
水分质量 (g)	(4) = (2) - (3)	3.42	3.78
干土质量 (g)	(5) = (3) - (1)	15.45	16.76
塑限含水率 (%)	(6) = $\frac{(4)}{(5)}$	22.1	22.6
平均塑限含水率 (%)	(7)	22.4	

4.3 精密度和允许差。

本试验须进行两次平行测定，取其算术平均值，以整数(%)表示。其允许差值为：高液限土小于或等于 2%，低液限土小于或等于 1%。

(五) 报告

5.1 土的鉴别分类和代号。

5.2 土的塑限值。

塑限试验的滚搓法，在国内一直使用。该法纯粹是手工操作，它的准确程度完全取决于操作者经验和技巧，人为影响较大，结果不够稳定，所以一直存在着争议。虽然滚搓法试验原始，但是各种新方法的提出皆以滚搓法为比较基础，所以该方法仍然列入规程，作为塑限的标准试验方法。

第 9 章 无侧限抗压强度试验

一、无机结合料稳定材料无侧限抗压强度试验方法 T 0805-1994(JTG E51-2009)

1 适用范围

本方法适用于测定无机结合料稳定材料(包括稳定细粒土、中粒土和粗粒土)试件的无侧限抗压强度。本次修订,对称量仪器和加载仪器的要求进行了调整,其余和 T 0805—1994 一致。

2 仪器设备

2.1 标准养护室。

2.2 水槽:深度应大于试件高度 50mm。

2.3 压力机或万能试验机(也可用路面强度试验仪和测力计):压力机应符合现行《液压式压力试验机》(GB/T 3722)及《试验机通用技术要求》(GB/T 2611)中的要求,其测量精度为 $\pm 1\%$,同时应具有加载速率指示装置或加载速率控制装置。上下压板平整并有足够刚度,可以均匀地连续加载卸载,可以保持固定荷载。开机停机均灵活自如,能够满足试件吨位要求,且压力机加载速率可以有效控制在 1mm/min。

2.4 电子天平:量程 15kg,感量 0.1g;量程 4000g,感量 0.01g。

2.5 量筒、拌和工具、大小铝盒、烘箱等。

2.6 球形支座。

2.7 机油:若干。

3 试件制备和养护

3.1 细粒土,试模的直径 $\times$ 高= $\Phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$;中粒土,试模的直径 $\times$ 高= $\Phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$;粗粒土,试模的直径 $\times$ 高= $\Phi 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 。

3.2 按照本规程 T 0843—2009 方法成型径高比为 1:1 的圆柱形试件。

目前抗压强度标准试件规格的径高比为 1:1。有研究表明,此规格试件容易产生顶端应力紊乱现象,因此有些科研单位采用径高比为 1:1.5 或 1:2 的试件。表 5—1 为不同径高比试件无侧限抗压强度试验结果。由此看出,对于相同材料、相同直径的试件,随着高度的增加,其强度逐渐降低。采用 1:1 试件可能存在应力紊乱导致强度失真的问题,同样,对于 1:1.5 或 1:2 的试件,是否就消除了应力紊乱的问题,还难以回答。当前无机结合料稳定材料的强度标准是根据 1:1 试件的标准制定的,因此,修正试件尺寸并不是简单的事情,将涉及材料设计标准问题,为此,强度试验的标准试件仍采用径高比 1:1。

不同方法得到试件强度比较(: MPa) 表 5—1

不同方法得到试件强度比较(MPa)		表 5-1
试件尺寸(cm)	强度(MPa)	变异系数(%)
$\phi 10 \times 10$	4.35	13.07
$\phi 10 \times 15$	3.55	7.57
$\phi 10 \times 20$	3.08	8.05
$\phi 10 \times 30$	2.55	18.93

同时,进行强度试验时,尽管试件表面进行了处理,但由于试件与上、下压块之间,在荷载施加过程中仍会产生较大的摩擦力,对试验结果仍会产生比较显著的影响。为此,应采用必要措施消除这种影响,即首先将甘油与滑石粉的混合物(质量比 2: 1)涂在试件的上、下顶面上,再用 60℃左右的熔蜡将两端封闭,可封闭两次,蜡膜厚度 1~2mm,然后进行强度测试。表 5—2 为有关的试验结果。由表 5—2 可以看出,两端进行处理后,基本消除了界面摩擦力,试件强度大幅度降低,尽管仍为 1: 1 试件,但其强度水平基本上与 1: 2 试件相当。

试件端部状况对于强度的影响表

表 5-2

级 配	端 部 状 况	平均值(MPa)	$C_v(\%)$	代表值(MPa)
U	端部涂甘油	4.12	10.16	3.43
	两端蜡封	2.21	7.16	1.95
	单面蜡封	2.57	9.39	2.17
	正常界面	4.19	9.00	3.57
W	端部涂甘油	5.35	1.63	5.20
	两端蜡封	2.59	6.67	2.31
	单面蜡封	2.75	6.46	2.46
	正常界面	5.79	5.89	5.22
Y	端部涂甘油	4.46	9.09	3.79
	两端蜡封	2.18	7.34	1.92
	单面蜡封	2.26	7.97	1.96
	正常界面	5.28	9.72	4.44

由于目前设计指标是采用以往的试验方法测试得的,如采用顶面处理方法测定强度,其强度标准将会大幅降低,工程技术人员还难以接受,工程操作存在一定困难。为此,新规程仍采用以往试验方法,但顶面处理方法暴露出的问题值得引起重视。

除特殊目的外,试件的干密度应与规定的施工过程中必须达到的干密度(压实度×最大干密度)相一致。

3.3 按照本规程 T 0845—2009 的标准养生方法进行 7d 的标准养生。

根据《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—2000),在施工前和施工过程中对稳定材料混合料进行材料组成设计,只用 7d 龄期的抗压强度。如需要不同龄期混合料的强度,则按要求延长养生期。

3.4 将试件两顶面用刮刀刮平,必要时可用快凝水泥砂浆抹平试件顶面。

3.5 为保证试验结果的可靠性和准确性,每组试件的数目要求为:小试件不少于 6 个;中试件不少于 9 个;大试件不少于 13 个。

4 试验步骤

4.1 根据试验材料的类型和一般的工程经验,选择合适量程的测力计和压力机,试件破坏荷载应大于测力量程的 20%且小于测力量程的 80%。球形支座和上下顶板涂上机油,使球形支座能够灵活转动。

4.2 将已浸水一昼夜的试件从水中取出,用软布吸去试件表面的水分,并称试件的质量 m_4 。

4.3 用游标卡尺测量试件的高度 h ，精确至 0.1mm。

试验前试件表面应用刮刀刮平，避免试件表面不均匀的凸起物在试验过程中造成应力集中，导致试验数据失真。必要时，可用快凝水泥砂浆抹面处理。如需要抹面，则抹面应在试件饱水前完成，然后进行饱水。

4.4 将试件放在路面材料强度试验仪或压力机上，并在升降台上先放一扁球座，进行抗压试验。试验过程中，应保持加载速率为 1mm/min。记录试件破坏时的最大压力 $P(N)$ 。

在进行强度试验时，试件需放置在竖向荷载的中心位置，如采用测力计，则测力计中心、球形支座、上压板、试件及下压板(或半球形支座)应处在同一条直线上，避免偏载对试验结果的影响。

4.5 从试件内部取有代表性的样品(经过打破)，按照本规程 T 0801—2009 方法，测定其含水量 w 。

5 计算

试件的无侧限抗压强度按式(T 0805-1)计算

$$R_c = \frac{P}{A}$$

R_c ——试件的无侧限抗压强度(MPa)；

P ——试件破坏时的最大压力(N)；

A ——试件的截面积(mm²)；

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

D ——试件的直径(mm)。

6 结果整理

6.1 抗压强度保留 1 位小数。

6.2 同一组试件试验中，采用 3 倍均方差方法剔除异常值，小试件可以允许有 1 个异常值，中试件 1~2 个异常值，大试件 2~3 个异常值。异常值数量超过上述规定的试验重做。

6.3 同一组试验的变异系数 c ，(%)符合下列规定，方为有效试验：小试件 $C_v \leq 6\%$ ；中试件 $C_v \leq 10\%$ ；大试件 $C_v \leq 15\%$ 。如不能保证试验结果的变异系数小于上述规定，则应按允许误差 10%和 90%概率重新计算所需的试件数量，增加试件数量并另做新试验。新试验结果与老试验结果一并重新进行统计评定，直到变异系数满足上述规定。

允许的变异系数的计算方法如下:

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}}$$

式中: C_v ——变异系数(%);

$\bar{x}$ ——算术平均值;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

S ——标准差。

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

允许的变异系数 C_v 是与规定的试验数量 n 相对应的 n 用下式求得。

$$n = [t_{1-a/2} C_v |e|]^2$$

式中: $t_{1-a/2}$ —— t 分布表中的分位值;

$|e|$ ——允许误差, 在此取 10%。

正态分布表中相同概率(或 a)的 $Z_{1-a/2}$ 的值, 代入式中计算得 n 后, 再加 2 或 3 即为所要的试验数量。在此用 90% 概率(即 $a=0.10$), $Z_{1-a/2}=1.645$ 。

7 报告

试验报告应包括以下内容:

- (1) 材料的颗粒组成;
- (2) 水泥的种类和强度等级, 或石灰的等级;
- (3) 重型击实的最佳含水量(%) 和最大干密度(g/cm^3);
- (4) 无机结合料类型及剂量;
- (5) 试件干密度(保留 3 位小数, g/cm^3) 或压实度;
- (6) 吸水量以及测抗压强度时的含水量(%);
- (7) 抗压强度, 保留 1 位小数;
- (8) 若干个试验结果的最小值和最大值、平均值 $\bar{R}$ 、标准差 S 、变异系数 C_v 和 95% 保证率的值

$$R_{c0.95}(R_{c0.95} = \bar{R}_c - 1.645S)。$$

8 记录

本试验的记录格式见表 T 0805—1。

无侧限抗压强度试验记录表

表 T 0805-1

工程名称						试件尺寸(cm)					
路段范围						养生龄期(d)					
混合料名称						加载速率(mm/min)					
结合料剂量(%)						试验者					
最大干密度(g/cm ³)						校核者					
试件压实度(%)						试验日期					
试件号											
试件制备方法											
制件日期											
养生前试件质量 m_2	(g)										
浸水前试件质量 m_3	(g)										
浸水后试件质量 m_4	(g)										
养生期间的质量损失 * $m_2 - m_3$	(g)										
吸水量 $m_4 - m_3$	(g)										
养生前试件的高度 h_0	(cm)										
浸水后试件的高度 h	(cm)										
试验的最大压力 P	(N)										
无侧限抗压强度 R_c	(MPa)										
平均值(MPa)		变异系数(%)					代表值(MPa)				

注：* 指水分损失。如养生后试件掉粒或掉块，不作为水分损失。

二、无机结合料稳定材料养生试验方法 T 0845—2009

1 适用范围

1.1 本方法适用水泥稳定材料类和石灰、二灰稳定材料类的养生。

1.2 标准养生方法是指无机结合料稳定类材料在规定的标准温度和湿度环境下强度增长的过程。快速养生是为了提高试验效率，采用提高养生温度缩短养生时间的养生方法。

1.3 本方法规定了无机结合料稳定材料的标准养生和快速养生的试验方法和步骤。在采用快速养生时，应建立快速养生条件下与标准养生条件下，混合料的强度发展的关系曲线，并确定标准养生的长龄期强度对应的快速养生短龄期。

2 仪器设备

2.1 标准养护室：标准养护室温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度在 95% 以上。

2.2 高温养护室：能保持试件养生温度 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 95% 以上。容积能满足试验要求。

3 试验步骤

3.1 标准养生方法

关于无机结合料稳定材料的养生温度，原规程中规定的是北方地区 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，南方地区为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。这是为了方便南北方地区的室内养生条件的需要而制定的。目前，各试验室都应具备自动控温、控湿的条件。为了使南北方的室内试验结果具有可比性，同时也为了与水泥混凝土的养生方法一致，方便各试验室操作，本次修订将无机结合料稳定材料的养生温度统一为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

由于此次标准养生温度的改变将影响到无机结合料稳定材料的设计强度的确定,编写组进行了相同无机结合料在分别在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 情况下养生,测试其抗压强度试验。试验结果为,同一组混合料在 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、95%湿度下养生 7d 的抗压强度为 6.4MPa,在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、95%湿度下养生 7d 的抗压强度为 5.4MPa。也就是说, $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 下养生的强度是 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 下养生强度的 1.18 倍。

3.1.1 试件从试模内脱出并量高称质量后,中试件和大试件应装入塑料袋内。试件装入塑料袋后,将袋内的空气排除干净,扎紧袋口,将包好的试件放入养护室。

此处须双手捧试件送往养护室,切不可拧着袋口,在养生结束后,也务必用双手捧着进行量高、称质量等操作。

3.1.2 标准养生的温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$,标准养生的湿度为 $\geq 95\%$ 。试件宜放在铁架或木架上,间距至少 10~20mm。试件表面应保持一层水膜,并避免用水直接冲淋。

3.1.3 标准养生方法,对无侧限抗压强度试验是养生龄期 7d,最后一天浸水。对弯拉强度、间接抗拉强度,水泥稳定材料类的标准养生龄期是 90d,石灰稳定材料类的标准养生龄期是 180d。

3.1.4 在养生期的最后一天,将试件取出,观察试件的边角有无磨损和缺块,并量高称质量,然后将试件浸泡于 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 水中,应使水面在试件顶上约 2.5cm。

3.2 快速养生方法

由于无机结合料稳定材料在常温条件下强度增长相对缓慢,对于实际工程施工而言,其养生龄期过长,使得一些重要的技术指标(如模量、劈裂强度、弯拉强度等)都很难作为混合料的技术性能控制指标,因此在许多工程应用和科研工作中都提出了快速养生的方法。为了真正实现无机结合料稳定材料的快速养生,新规程增加了快速养生方法,以便各单位参考应用,并最终建立快速养生和标准养生的关系,从而缩短无机结合料稳定材料配合比设计的时间。

3.2.1 快速养生龄期的确定

在快速养生过程中,确定标准养生的长龄期对应的快速养生的短龄期时,也可以采用测试抗压回弹模量和劈裂强度值来建立两者的关系。在实际试验中,根据具体试验目的选用。

(1)将一组无机结合料稳定材料,在标准养生条件下($20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$,湿度 $\geq 95\%$)养生 180d(石灰稳定类材料养生 180d,水泥稳定类材料养生 90d)测试抗压强度值。

(2)将同样的一组无机结合料稳定材料,在高温养生条件下($60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$,湿度 $\geq 95\%$)下养生 7d、14d、21d、28d 等,进行不同龄期的抗压强度试验,建立高温养生条件下强度~龄期的相关关系。

(3)在强度~龄期关系曲线上,找出标准养生长龄期强度对应的高温养生的短龄期。并以此作为快速养生的龄期。

3.2.2 快速养生试验步骤

(1)将高温养护室的温度调至规定的温度 $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$,湿度也保持在 95%以上,并能自动控温控湿。

(2)将制备的试件量高称质量后,小心装入塑料袋内。试件装入塑料袋后,将袋内的空气排除干净,并将袋口用麻绳扎紧,将包好的试件放入养护箱中。

(3)养生期的最后一天,将试件从高温养护室内取出,晾至室温(约 2h),再打开塑料袋取出试件,观察试件有无缺损,量高称质量后,浸入 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 恒温水槽中,水面高出试件顶 2.5cm。浸水 24h 后,取出试件,用软布擦去可见自由水,称质量、量高后,立即进行相关的试验。

4 结果整理

4.1 如养生期间有明显的边角缺损，试件应该作废。

4.2 对养生 7d 的试件，在养生期间，试件质量损失应符合下列规定：小试件不超过 1g；中试件不超过 4g；大试件不超过 10g。质量损失超过此规定的试件，应予作废。

4.3 对养生 90d 和 180d 的试件，在养生期间，试件质量损失应符合下列规定：小试件不超过 1g；中试件不超过 10g；大试件不超过 20g。质量损失超过此规定的试件，应予作废。

试件的质量损失指含水量的减少，不包括由于各种原因从试件上掉下的混合料。

5 报告

试验报告应包括以下内容：

- (1)材料的颗粒组成；
- (2)水泥的种类和强度等级，或石灰的等级；
- (3)重型击实的最佳含水量(%)和最大干密度(g/cm^3)；
- (4)无机结合料类型及剂量；
- (5)试件干密度(保留小数点后 3 位， g/cm^3)或压实度；
- (6)该材料在高温下的龄期与强度的对应关系；
- (7)与标准长龄期强度所对应的快速养生的龄期。

6 记录

本试验的记录格式根据所养生的试件类型，采取相应的梁式试件和圆柱形试件的记录表格。圆柱形试件养生记录见表 T 0845—1。在记录内容里增加养生的起始日前和终止日期，养生的温度、湿度和养生结束后的试验内容。

稳定材料圆柱形试件养生记录表

表 T 0845-1

工 程 名 称	_____				混 合 料 名 称	_____			
土 质 类 型	_____				结 合 料 类 型 及 剂 量 (%)	_____			
最 佳 含 水 量 (%)	_____				最 大 干 密 度 (g/cm^3)	_____			
试 件 压 实 度 (%)	_____				试 件 标 准 质 量 (g)	_____			
养 生 开 始 日 期	_____				饱 水 日 期	_____			
养 生 温 度	_____				养 生 湿 度	_____			
试 验 人 员	_____				试 验 目 的	_____			

编 号	直 径 (mm)				高 度 (mm)				质 量 (g)	误 差 (%)
	1	2	3	平均	1	2	3	平均		
1										
2										

第 10 章 土的承载比(CBR)试验

承载比(CBR)值反映的是土体在部分侧限条件下所具有的某种承载能力。它与地基的承载力、模量、弯沉等指标没有直接的关系，目前也缺少这方面的对比资料和经验数据。

承载比试验是由美国加州公路局首先提出来的，简称 CBR(California Bearing Ratio 的缩写)试验。日本也把 CBR 试验纳入全国工业规格土质试验方法规程(JIS A1211—70)。所谓 CBR 值，是指试料贯入量达 2.5mm 时，单位压力对标准碎石压入相同贯入量时标准荷载强度的比值。标准荷载与贯入量之间的关系如表 T 0134-5 所示。

表 T 0134-5 不同贯入量时的标准荷载强度和标准荷载

贯入量 (mm)	标准荷载强度 (kPa)	标准荷载 (kN)
2.5	7 000	13.7
5.0	10 500	20.3
7.5	13 400	26.3
10.0	16 200	31.8
12.5	18 300	36.0

标准荷载强度与贯入量之间的关系也可用下式表示：

$$p=162 L^{0.61}$$

式中：p—标准荷载强度(kPa)；

L——贯入量(mm)。

CBR 是路基土和路面材料的强度指标，是柔性路面设计的主要参数之一。在我国的柔性路面设计中，虽以路基土和路面材料的回弹模量值作为设计参数，但在路基路面施工规范中仍将 CBR 作为一项力学指标。在现场测试中 CBR 值的离散性较大。为便于参考国外有关 CBR 方面的资料进行设计，同时进一步积累这方面的资料，促进国际学术交流，仍将 CBR 试验列入本规程。

一、目的和适用范围(JTG 3430-2020)

1.1 本试验方法只适用于在规定的试筒内制件后，对各种土和路面基层、底基层材料进行承载比试验。

1.2 试样的最大粒径宜控制在 20mm 以内，最大不得超过 40mm 且含量不超过 5%。

二、仪器设备

在美国，CBR 筒采用的尺寸为直径 15.2cm，高 11.64cm(筒高 117.8mm 减去垫块厚度 61.4mm)，容积与重型击实筒相同，仍为 2144cm³。一般要求制备 3 个试件，使击实后的干密度为最大干密度的 95%~100%，每个试件分别按每层 10、30 和 60 次夯实，均分三层击实。

在日本，CBR 筒的尺寸与重型击实试验用的试筒相同，垫块厚度 50cm。制备试件时，采用与重型击实试验相同的层数和每层击数。

目前使用的路面材料测试仪,其附件 CBR 筒的尺寸与美国的相近,只是垫块厚度为 50cm,但较美国的薄一些,与日本的相同。考虑到路面材料测试仪已成批生产,使用的单位也较多,因此,本规程以路面材料测试仪作为加载设备,同时维持 CBR 筒原定尺寸和垫块厚度。

2.1 圆孔筛:孔径 40mm、20mm 及 5mm 筛各 1 个。

2.2 试筒:内径 152mm、高 170mm 的金属圆筒;套环,高 50mm;筒内垫块,直径 151mm、高 50mm;夯击底板,同击实仪。试筒的形式和主要尺寸如图 T 0134-1 所示,也可用(T 0131-2007)击实试验的大击实筒。

2.3 夯锤和导管:夯锤的底面直径 50mm,总质量 4.5kg。夯锤在导管内的总行程为 450mm,夯锤的形式和尺寸与重型击实试验法所用的相同。

2.4 贯入杆,端面直径 50mm、长约 100mm 的金属柱。

2.5 路面材料强度仪或其他载荷装置:能量不小于 50kN,能调节贯入速度至每分钟贯入 1mm,可采用测力计式,如图 T 0134-2 所示。

2.6 百分表:3 个。

2.7 试件顶面上的多孔板(测试件吸水时的膨胀量),如图 T 0134-3 所示。

2.8 多孔底板(试件放上后浸泡水中)。

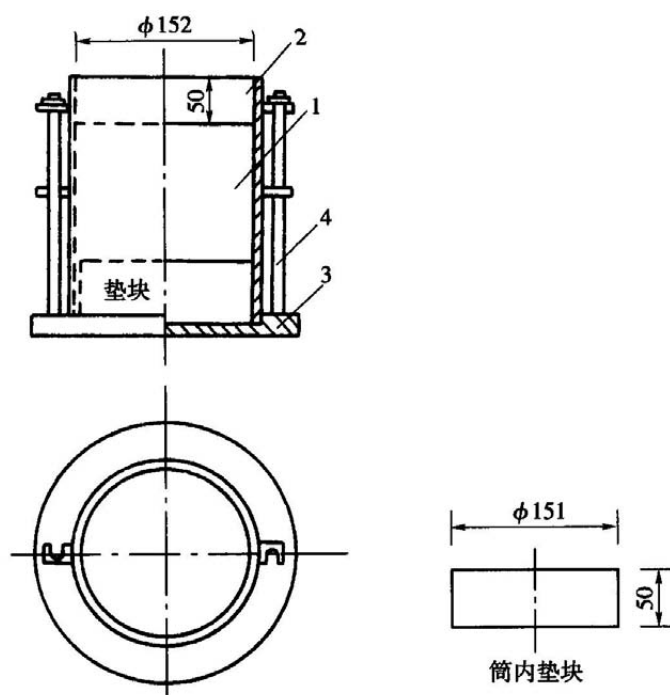


图 T 0134-1 承载比试筒(单位:mm)

1-试筒;2-套环;3-夯击底板;4-拉杆

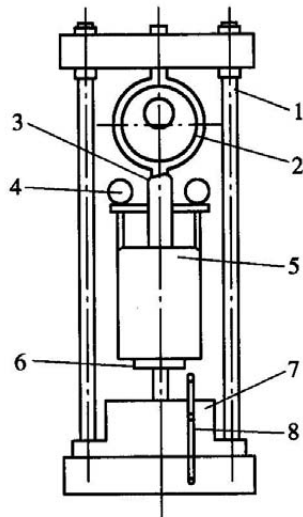


图 T 0134-2 手摇测力计式载荷装置示意图
1-框架;2-量力环;3-贯入杆;4-百分表;5-试件;
6-升降台;7-蜗轮蜗杆箱;8-摇把

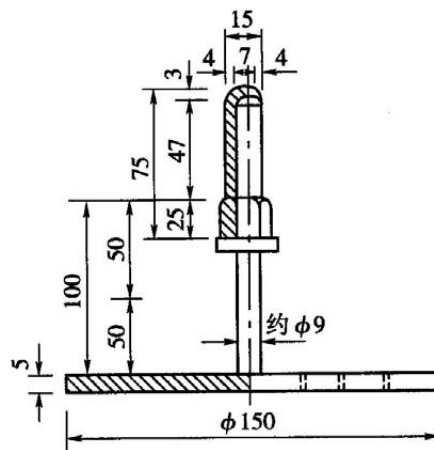


图 T 0134-3 带调节杆的多孔板
(单位:mm)

2.9 测膨胀量时支承百分表的架子，如图 T 01344 所示。或采用压力传感器测试。

2.10 荷载板：直径 150mm，中心孔眼直径 52mm，每块质量 1.25kg，共 4 块，并沿直径分为两个半圆块，如图 T 0134.5 所示。

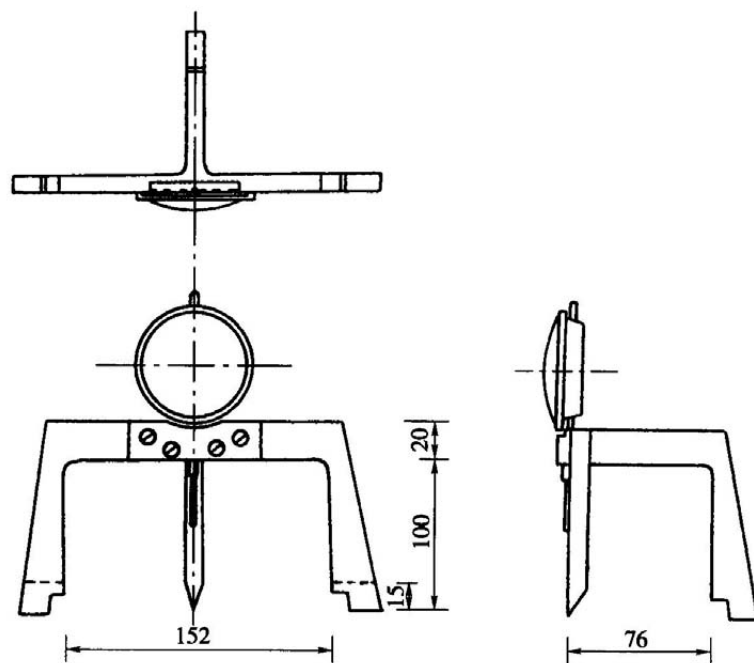


图 T 0134-4 膨胀量测定装置(单位:mm)

2.11 水槽：浸泡试件用，槽内水面应高出试件顶面 25mm。

2.12 其他：台秤，感量为试件用量的 0.1%；拌和盘、直尺、滤纸、脱模器等与击实试验相同。

三、试样

将具有代表性的风干试料(必要时可在 50℃烘箱内烘干)，用木碾捣碎，但应尽量注意不使土或粒料的单个颗粒破碎。土团均应捣碎到通过 5mm 的筛孔。

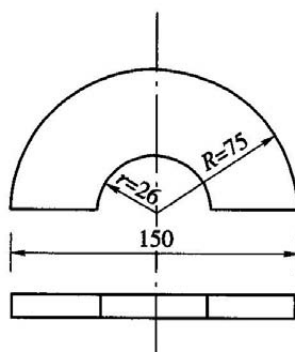


图 T 0134-5 荷载板(单位:mm)

采取有代表性的试料 50kg，用 40mm 筛筛除大于 40mm 的颗粒，并记录超尺寸颗粒的百分数。将已过筛的试料按四分法取出约 25kg。再用四分法将取出的试料分成 4 份，每份质量 6kg，供击实试验和制试件之用。

在预定做击实试验的前一天，取有代表性的试料测定其风干含水率。测定含水率用的试样数量可参照表 T 0134-1 采取。

表 T 0134-1 测定含水率用试样的数量

最大粒径(mm)	试样质量(g)	个 数
< 5	15 ~ 20	2
约 5	约 50	1
约 20	约 250	1
约 40	约 500	1

本试验采用风干试料，按四分法备料。先按击实试验求得试料的最佳含水率后，再按此最佳含水率制备所需试件。

四、试验步骤

4.1 称试筒本身质量(m_1)，将试筒固定在底板上，将垫块放入筒内，并在垫块上放一张滤纸，安上套环。

4.2 将试料按表 T0134-2 中 II-2 规定的层数和每层击数进行击实，求试料的最大干密度和最佳含水率。

表 T 0131-1 击实试验方法种类

试验方法	类别	锤底直径 (cm)	锤质量 (kg)	落高 (cm)	试筒尺寸		试样尺寸		层数	每层击数	击实功 (kJ/m³)	最大粒径 (mm)
					内径 (cm)	高 (cm)	高度 (cm)	体积 (cm³)				
轻型	I-1	5	2.5	30	10	12.7	12.7	997	3	27	598.2	20
	I-2	5	2.5	30	15.2	17	12	2 177	3	59	598.2	40
重型	II-1	5	4.5	45	10	12.7	12.7	997	5	27	2 687.0	20
	II-2	5	4.5	45	15.2	17	12	2 177	3	98	2 677.2	40

4.3 将其余 3 份试料，按最佳含水率制备 3 个试件。将一份试料平铺于金属盘内，按事先计算得的该份试料应加的水量[按式(T0134-1)]均匀地喷洒在试料上。

$$m_w = \frac{m_i}{1 + 0.01 w_i} \times 0.01 (w - w_i)$$

式中: m_w --所需的加水量(g);

m_i --含水率 w_i 时土样的质量(g);

w_i --土样原有含水率(%);

w --要求达到的含水率(%)。

用小铲将试料充分拌和到均匀状态，然后装入密闭容器或塑料口袋内浸润备用。

浸润时间：重黏土不得少于 24h，粉性土可缩短到 12h，砂土可缩短到 6h，天然砂砾可缩短到 2h 左右。

制每个试件时，都要取样测定试料的含水率。

需要时，可制备三种干密度试件。如每种干密度试件制 3 个，则共制 9 个试件。每层击数分别为 30,50 和 98 次，使试件的干密度从低于 90%到等于 100%的最大干密度。这样，9 个试件共需试料约 55kg。

4.4 取备好的试样分 3 次倒入筒内，每层需试样 1500~1700g 左右(其量应使击实后的试样高出 1/3 筒高 1~2mm)。整平表面，并稍加压紧，然后按规定的击数进行第一层试样的击实，击实时锤应自由垂直落卜，锤迹必须均匀分布于试样面上。第一层击实完后，将试样层面“拉毛”，然后再装入套筒，重复上述方法进行其余每层试样的击实。大试筒击实后，试样不宜高出筒高 10mm。

4.5 每击实 3 筒试件，取代表性试样进行含水率试验

4.6 卸下套环，用直刮刀沿试筒顶修平击实的试件，表面不平整处用细料修补。取出垫块，称试筒和试件的质量(m_2)。

4.7 泡水测膨胀量的步骤如下：

4.7.1 在试件制成后，取下试件顶面的破残滤纸，放一张好滤纸，并在其上安装附有调节杆的多孔板，在多孔板上加 4 块荷载板。

4.7.2 将试筒与多孔板一起放入槽内(先不放水)，并用拉杆将模具拉紧，安装百分表，并读取初读数。

4.7.3 向水槽内放水，使水自由进到试件的顶部和底部。在泡水期间，槽内水面应保持在试件顶面以上大约 25mm。通常试件要泡水 4 昼夜。

4.7.4 泡水终了时，读取试件上百分表的终读数，并用下式计算膨胀量：

$$\text{膨胀量} = \frac{\text{泡水后试件高度变化}}{\text{原试件高}(=120\text{mm})} \times 100$$

4.7.5 从水槽中取出试件，倒出试件顶面的水，静置 15min，让其排水，然后卸去附加荷载和多孔板、底板和滤纸，并称量(m_3)，以计算试件的湿度和密度的变化。

4.7 贯入试验。

4.7.1 将泡水试验终了的试件放到路面材料强度试验仪的升降台上，调整偏球座，对准、整平并使贯入杆与试件顶面全面接触，在贯入杆周围放置 4 块荷载板。

为了模拟地基的上覆压力，在浸水膨胀和贯入试验时，试样表面需要加荷载块，希望能施加与实际荷载或设计荷载相同的力。但对于黏性土来说，特别是上覆压力很大时，荷载块的影响无法达到要求，因此标准中规定施加四块 1.25kg 的荷载块作为标准方法。

4.7.2 先在贯入杆上施加少许荷载，然后将测力和测变形的百分表指针均调整至整数，并记读起始读数。

在加荷装置上安装好贯入杆后，为了使贯入杆端面与试样表面充分接触，所以在贯入杆上施加 45N 的预压力，将此荷载作为试验时的零荷载，并将该状态的贯入量设为零点。绘制的压力和贯入量关系曲线，起始部分呈反弯，则表示试验开始时贯入杆端面与土表面接触不好，应对曲线进行修正。

4.7.3 加荷使贯入杆以 1~1.25mm / min 的速度压入试件，同时测记三个百分表的读数。记录测力计内百分表某些整读数(如 20、40、60)时的贯入量，并注意使贯入量为 250×10^{-2} mm 时，能有 5 个以上的读数。因此，测力计内的第一个读数应是贯入量 30×10^{-2} mm 左右。

五、结果整理

5.1 以单位压力(p)为横坐标,贯入量(l)为纵坐标,绘制 p - l 关系曲线,如图 T 0134-6 所示。图上曲线 1 是合适的。曲线 2 开始段是凹曲线,需要进行修正。修正时在变曲率点引一切线,与纵坐标交于 O' 点, O' 即为修正后的原点。

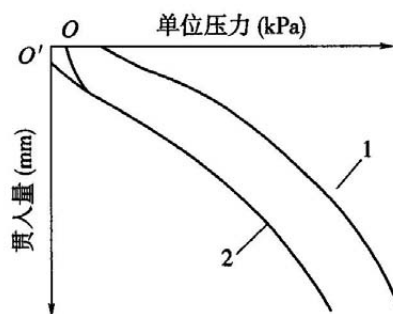


图 T 0134-6 单位压力与贯入量的关系曲线

绘制单位压力(p)与贯入量(L)的关系曲线时,如发现曲线起始部分反弯,则应对曲线进行修正,以 O' 作为修正的原点。

5.2 一般采用贯入量为 2.5mm 时的单位压力与标准压力之比作为材料的承载比(CBR)。

即:

$$CBR = \frac{P}{7000} \times 100$$

式中: CBR——承载比(%), 计算至 0.1;

p ——单位压力(kPa)。

同时计算贯入量为 5mm 时的承载比:

$$CBR = \frac{P}{10500} \times 100$$

如贯入量为 5mm 时的承载比大于 2.5mm 时的承载比,则试验应重做。如结果仍然如此,则采用 5mm 时的承载比。

5.3 试件的湿密度用下式计算:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{2177}$$

式中: ρ ——试件的湿密度(g/cm^3), 计算至 0.01;

m_2 ——试筒和试件的合质量(g);

m_1 ——试筒的质量(g);

2177——试筒的容积(cm^3)。

5.4 试件的干密度用下式计算：

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w}$$

式中： ρ_d ——试件的干密度(g / cm³)， 计算至 0.01；

w——试件的含水率。

5.5 泡水后试件的吸水量按下式计算：

$$w_a = m_3 - m_2$$

式中： w_a ——泡水后试件的吸水量(g)；

m_3 ——泡水后试筒和试件的合质量(g)；

m_2 ——试筒和试件的合质量(g)。

5.6 本试验记录格式如表 T 0134-3 和表 T 0134-4

表 T 0134-3 贯入试验记录

土样编号 _____ 试 验 者 _____
 最大干密度 1.69g/cm³ 计 算 者 _____
 最佳含水率 18% 校 核 者 _____
 每层击数 98 试验日期 _____
 试件编号 _____

量力环校正系数 $C = 0.239 \text{ kN}/0.01\text{mm}$, 贯入杆面积 $A = 1.9635 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$P = \frac{C \times R}{A}$$

$$l = 2.5\text{mm 时}, \quad p = 611\text{kPa} \quad \text{CBR} = \frac{p}{7000} \times 100 = 8.7\%$$

$$l = 5.0\text{mm 时}, \quad p = 690\text{kPa} \quad \text{CBR} = \frac{p}{10500} \times 100 = 6.6\%$$

荷载测力计百分表		单位 压力	贯入量百分表读数					贯入量
读数	变形值		左表		右表		平均值	
			读数	位移值	读数	位移值		
R'_i (0.01mm)	$R_1 = R'_{i+1} - R'_i$ (0.01mm)	p (kPa)	R_{1i} (0.01mm)	$R_1 = R_{1i+1} - R_{1i}$ (0.01mm)	R_{2i} (0.01mm)	$R_2 = R_{2i+1} - R_{2i}$ (0.01mm)	$R_1 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$ (0.01mm)	l (mm)
0.0	0.9	110	0.0	60.4	0.0	60.6	60.5	0.61
0.9			60.4		60.6			
1.8	1.8	220	106.5	106.5	106.5	106.5	106.5	1.07
	2.9	2.9						
4.0		4.0	489	151.1	193.9	150.9	194.1	194.0
4.8	4.8	586	193.9	193.9	194.1	240.6	240.5	2.41
	5.1	5.1						
5.4		5.4	660	286.1	286.1	285.9	335.0	335.0
	5.6	5.6	684					
5.6		5.6	684	383.0	488.0	383.0	488.0	488.0
5.6			488.0		488.0			

表 T 0134-4 膨胀量试验记录

膨 胀 量	试验次数			1	2	3
	筒号	(1)				
	泡水前试件(原试件)高度 (mm)	(2)		120	120	120
	泡水后试件高度 (mm)	(3)		128.6	136.5	133
	膨胀量 (%)	(4)	$\frac{(3)-(2)}{(2)} \times 100$	7.167	13.75	10.83
	膨胀量平均值 (%)			10.58		

密度	筒质量	m_1 (g)	(5)		6 660	4 640	5 390
	筒 + 试件质量	m_2 (g)	(6)		10 900	8 937	9 790
	筒体积	(cm^3)	(7)		2 177	2 177	2 177
	湿密度	ρ (g/cm^3)	(8)	$\frac{(6)-(5)}{(7)}$	1.948	1.974	2.021
	含水率 w	(%)	(9)		16.93	18.06	26.01
	干密度	ρ_d (g/cm^3)	(10)	$\frac{(8)}{1+0.01w}$	1.666	1.672	1.604
	干密度平均值	(g/cm^3)	1.647				
吸水量	泡水后筒 + 试件合质量	m_3 (g)	(11)		11 530	9 537	10 390
	吸水量	w_a (g)	(12)	(11) - (6)	630	600	600
	吸水量平均值	(g)	610				

5.7 精密度和允许差。

计算 3 个平行试验结果计算得的承载比变异系数 C_v 大于 12%，则去掉一个偏离大的值，取其余 2 个结果的平均值。如 C_v 小于 12%，则取 3 个结果的平均值。

CBR 值 (%) 与膨胀量 (%) 取小数点后一位。

六、报告

6.1 材料的状态描述、最佳含水率(%)和最大干密度(g / cm^3)。

6.2 材料的承载比。

6.3 材料的膨胀量。

做 CBR 试验时，应模拟材料在使用过程中处于最不利状态，在一般情况下，可按饱水四昼夜作为设计状态。但是，在干燥地区，如能结合地区、地形、排水、路面排水构造和路面结构等因素，论证土基潮湿程度和土试件饱水四昼夜的含水率有明显差异时，则可适当改变试件饱水方法和饱水时间，使 CBR 试验更符合实际状况。

当制备三种干密度试件时，对应所需压实度的 CBR 求取方法如图 T 0134-A，其膨胀量求取方法相同。

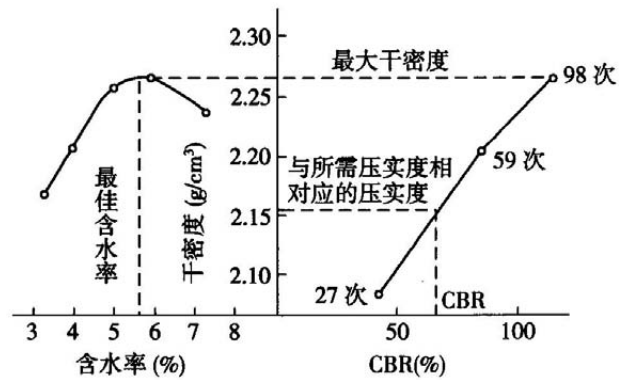


图 T 0134-7 对应于所需压实度的 CBR 求取方法

CBR 试验成果应用于公路和机场跑道的设计时，根据土的类别能求得跑道或路面的总厚度。

CBR 试验的缺点是试验费时，成果比较分散，一般 CBR 对砂土给出的强度指标偏低，而对黏性土给出的强度指标偏高。此外，大量的现场测试经验表明，现场测试的 CBR 值离散性很大，总体来说无实际应用价值。

在我国的柔性路面设计中，以路基土和路面材料的回弹模量值作为设计参数者居多，但不少单位，特别是科研单位，为便于使用 CBR 资料，对回弹模量和 CBR 的关系进行了大量的试验工作。目前仍将 CBR 试验作为《公路土工试验规程》中的标准试验方法，是便于积累这方面的资料，开展技术交流。

第 11 章 粗粒土和巨粒土的最大干密度试验

相对于细粒土，粗粒土和巨粒土具有一些特性。如颗粒较粗、颗粒之间没有或只有很小的凝聚力，不具有可塑性，多成单粒结构，压缩性小，透水性高，抗剪强度较大且含水率的变化对它的性质影响不显著。本规程规定当粒径大于 0.075mm、小于 60mm(或粒径大于 60mm 小于 200mm)的土颗粒含量大于总土质量的 50%的土称为粗(巨)粒土。在自然界中，大多数土都是由各种大小不一的土粒混杂而成。判别一种土是否为粗(巨)粒土，主要看它是否表现出上述的特性，如果一种土具有上述的特性则显然含有少量的黏粒也可以列为粗(巨)粒土。这里所指的粗(巨)粒土既包括纯净砂、砾以及砂砾为主的混合土，同时也将填筑路基时常用的大粒径碎石土以及碎石混合土列入本试验范围内。

一、表面振动压实仪法

表面振动压实仪法与现场压实形式较为相似，其压实效果取决于土料的级配特征、激振力、振动频率、振幅和振动压实持续时间。压实能量过大会造成固体颗粒破碎，少量的颗粒尖角钝化是可以接受的，但是出现显著的颗粒破碎就违背了压实试验本身的内涵。

(一)目的和适用范围

1.1 本方法是测定粗粒土和巨粒土最大干密度的试验方法。

1.2 本试验规定采用表面振动压实仪法测定无黏性自由排水粗粒土和巨粒土(包括堆石料)的最大干密度。

1.3 本试验方法适用于通过 0.075mm 标准筛的土颗粒质量百分数不大于 15%的无黏性自由排水粗粒土和巨粒土。

1.4 对于最大颗粒尺寸大于 60mm 的巨粒土，因受试筒允许最大粒径的限制，宜按本试验 3.3 规定处理。

本试验规定采用表面振动压实仪法测定无黏聚性自由排水粗粒土和巨粒土(小于 0.075mm 的干颗粒质量百分数不大于 15%)的最大干密度。定性地讲，本法可适用于颗粒土，特别是击实试验无法或难以确定最大干密度及最佳含水率的高透水性土，此时本法也可测定得出最佳含水率，如果将试料按击实试验那样制备不同含水率(最好相差 1%~2%，并要充分拌和均匀才行)的话。

英国、瑞典等国家标准采用表面振动压实仪法。本规程系根据冯冠庆、杨荫华的研究结果制定的。

(二)仪器设备

表面振动压实仪法，目前多采用 H 形支架，以扶持振动器作垂直振动。试验配置两种尺寸的试筒及相应附加荷重(但在试样表面产生的静压力仍为 18kPa)，从而适用于不同粒径的土样(表 T 0133.1)。

表 T 0133-1 试样质量及仪器尺寸

表 T 0133-1 试样质量及仪器尺寸

土粒最大尺寸 (mm)	试样质量 (kg)	试筒尺寸		装料工具
		容积(cm^3)	内径(mm)	
60	34	14 200	280	小铲或大勺
40	34	14 200	280	小铲或大勺
20	11	2 830	152	小铲或大勺
10	11	2 830	152	$\phi 25\text{mm}$ 漏斗
≤ 5	11	2 830	152	$\phi 3\text{mm}$ 漏斗

试验表明,对于不同级配特征的土料,当表面静压力(即振动器总重量作用在试验样表面上的静压力)从 7kPa 增至 200kPa 时,压实干密度随之先增大而后降低。因此,试验应根据土料的级配特征确定试验表面静压力。按目前国内试验设备的现状宜取 18kPa 以上。对粗粒土的系统试验表明,不同级配特征的粗、巨粒土,其振动压实的最佳振动频率、激振力和振动时间不同。当土料全为粗、巨粒土时,根据土料级配特征的不同,最佳振动频率范围为 30~50Hz,最佳激振力为 50~80kN,最佳振动时间为 3~4min。试样受到过大的振动压实力,则会造成颗粒破碎或颗粒尖角钝化。

2.1 振动器:见图 T 0133-1,功率 0.75~2.2kW,振动频率 30~50Hz,激振力 10~80kN。钢制夯:可牢固于振动电机上,且有一厚 15~40mm 夯板。夯板直径应略小于试筒内径 2~5mm。夯与振动电机总重在试样表面产生 18kPa 以上的静压力。

2.2 试筒:见表 T 0133-1 或根据土体颗粒级配选用较大试筒。但固定试筒的底板须固定于混凝土基础上或至少质量为 450kg 混凝土块上。试筒容积宜用灌水法每年标定一次。

2.3 套筒:内径应与试筒配套,高度为 170~250mm;与试筒固定后内壁须成直线连接。

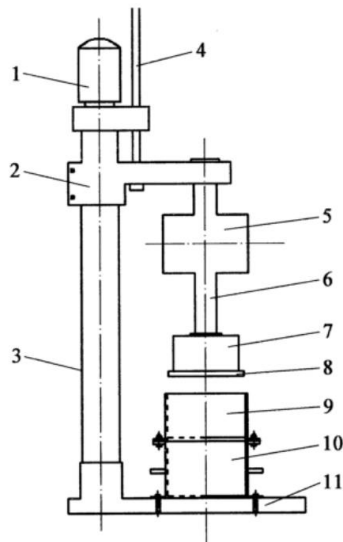


图 T 0133-1 表面振动压实试验装置

1-电机;2-横架;3-立柱;4-螺杆;5-振动电机;6-连接杆;7-钢制夯;8-夯板;9-套筒;10-试筒;11-底板

2.4 台秤、电动葫芦、标准筛(圆孔筛: 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm、0.075mm)。

2.5 直钢条: 宜用尺寸为 350mm×25mm×3mm(长×宽×厚)。

2.6 深度仪或钢尺: 量测精度要求至 0.5mm。

2.7 大铁盘: 其尺寸宜用 600mm×500mm×80mm(长×宽×高)。

2.8 其他: 烘箱、小铲、大勺及漏斗、橡皮锤、秒表、试筒布套等。

(三) 试验步骤

3.1 干土法

3.1.1 充分拌匀烘干试样，即使其颗粒分离程度尽可能小；然后大致分成三份。测定并记录空试筒质量。

3.1.2 用小铲或漏斗将任一份试样徐徐装填入试筒，并注意使颗粒分离程度最小(装填量宜使振毕密实后的试样等于或略低于筒高的 1 / 3)；抹平试样表面。然后可用橡皮锤或类似物敲击几次试筒壁，使试料下沉。

3.1.3 将试筒固定于底板上，装上套筒，并与试筒紧密固定。

3.1.4 放下振动器，振动 6min。吊起振动器。

3.1.5 按本试验 3.1.2~3.1.4 进行第二层、第三层试样振动压实。

3.1.6 卸去套筒。将直钢条放于试筒直径位置上，测定振毕试样高度。读数宜从四个均布于试样表面至少距筒壁 15mm 的位置上测得并精确至 0.5mm,记录并记录试样高度 H_0 。

3.1.7 卸下试筒，测定并记录试筒与试样质量。扣除试筒质量即为试样质量。计算最大干密度 ρ_{dmax} 。

3.1.8 重复本试验 3.1.1~3.1.7 步骤，直至获得一致的最大干密度。但须制备足够的代表性试料，不得重复振动压实单个试样。

3.2 对于粒径大于 60mm 的巨粒土，因受试筒允许最大粒径的限制，应按相似级配法制备缩小粒径的系列模型试料。相似级配法粒径及级配按以下公式及图 T 0133-2 计算。

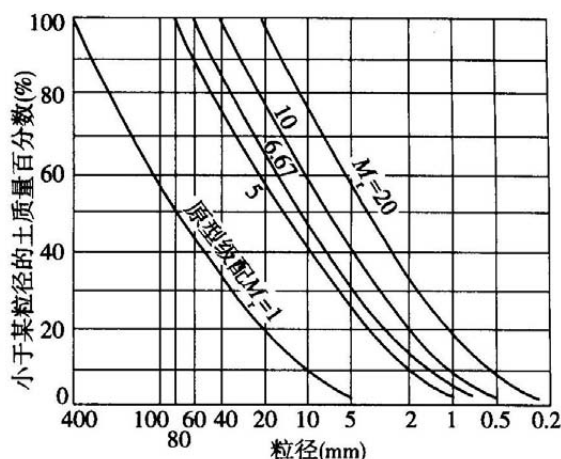


图 T 0133-2 原型料与模型料级配关系

相似级配模型试料粒径：

$$d = \frac{D}{M_r} \quad (\text{T 0133-2})$$

D ——原型试料级配某粒径(mm)；

d ——原型试料级配某粒径缩小后的粒径，即模型试料相应粒径(mm)；

M_r ——粒径缩小倍数，通常称为相似级配模比；

$$M_r = \frac{D_{\max}}{d_{\max}}$$

$D_{\max}$ ——原型试料级配最大粒径(mm);

$d_{\max}$ ——试样允许或设定的最大粒径,即 60mm、40mm、20mm、10mm 等。

相似级配模型试料级配组成与原型级配组成相同,即:

$$P_{M_r} = P_p \quad (T\ 0133-4)$$

P_{M_r} ——原型试料粒径缩小 M_r 倍后(即为模型试料)相应的小于某粒径 d 含量百分数(%);

P_p ——原型试料级配小于某粒径 D 的含量百分数(%)。

试验表明,压实干密度随振动历时的增长而增大,当振至 6min 左右时,干密度变化甚微,基本稳定。本规程规定振动 6min。通常振动时间为 3~4min 压实效率较高。

由于振动器的激振力(F)为 4.2kN,当表面静压力 $p_s=14\text{kPa}$ 时,振动器总重(Q)为 0.84kN,因此,相应振动器加速度(幅值) $a_p=FQ=5g$ 。 $a_p=5g$ 时,相应振幅 0.55mm 即为最优振幅。

表面振动器法也是分三层压实时,干密度值较大。

(四)结果整理

4.1 对于干土法,最大干密度按下式计算:

$$\rho_{d\max} = \frac{M_d}{V}$$

$$V = A_c H$$

式中: $\rho_{d\max}$ ——最大干密度,计算至 0.01 g/cm³;

M_d ——干试样质量(g);

V ——振毕密实试样体积(cm³);

A_c ——标定的试筒横断面积(cm²);

H ——振毕密实试样高度(cm)。

4.2 巨粒土原型料最大干密度应按以下方法确定:

4.2.1 作图法

延长图 T 0133-3 中最大干密度 $\rho_{d\max}$ 与相似级配模比 M_r 的关系直线至 $M_r=1$ 处,即读得原型试料的 $\rho_{d\max}$ 值。

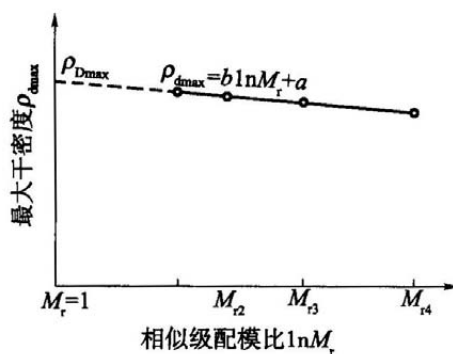


图 T 0133-3 模型料 ρ_{dmax} - M_r 关系

4.2.2 计算法

对几组系列试验结果用曲线拟合法可整理出下式:

$$\rho_{dmax} = a + b \ln M_r$$

a 、 b ——试验常数。

由于 $M_r = 1$ 时, $\rho_{dmax} = \rho_{Dmax}$, 所以 $a = \rho_{Dmax}$

即

$$\rho_{dmax} = \rho_{Dmax} + b \ln M_r$$

令 $M_r = 1$ 时, 即得原型试料 ρ_{Dmax} 的值。

4.3 计算干土法所测定的最大干密度试验结果的平均值作为试验报告的最大干密度值, 当湿土法结果比干土法高时, 采用湿土法试验结果的平均值。

4.4 压实指标计算。

如果已测定最小干密度 ρ_{dmin} [采用测定 ρ_{dmax} 的试筒及装料工具以干土样松填法试验测定, 或采用 (T 0123—1993) 的方法], 且已知土料的沉积或填筑干密度 ρ_d , 则相对密度 D_r 可按式计算:

如果粒径大于 60mm 的巨粒土难以测定其最小干密度, 但当已知土料的沉积或填筑干密度 ρ_D 时, 则压实度 K 可按式计算:

$$K = \frac{\rho_D}{\rho_{Dmax}} \times 100$$

4.5 本试验记录格式如表 T 0133.2。

表 T 0133-2 最大干密度试验记录

试料编号		CR21	试料来源	XBKD	试料最大料径	60mm
相似级配模比		1.33	振动频率	50Hz	全振幅	0.5mm
振动历时		3 × 10min	试验日期			

试验方法			干土法	
平行测定次数		(kg)	1	2
试样 + 试筒质量		(kg)	42.700	42.850
试筒质量		(kg)	12.800	12.800
试样质量	干土法 M_d	(kg)	29.900	30.051
	湿土法 M_m	(kg)		
试筒容积 V_c		(kg)	14 200	14 200
试筒横断面积 A_c		(cm ²)	615.75	615.75
百分表初读数 R_i		(mm)	42.275	46.350
百分表终读数 R_f		(mm)	33.250	36.405
试样表面至试筒顶面距离 $\Delta H = R_i - R_f + T_p^*$		(mm)	21.025	21.945
试样体积 $V = [V_c - A_c(\Delta H/10)] \times 10^{-6}$		(m ³)	0.012 905 4	0.012 848 8
试样干密度	干土法 M_d/V	(kg/m ³)	2 316.9	2 338.7
	湿土法 $M_m/[V(1 + 0.01w^*)]$	(kg/m ³)		
最大干密度(即平均值) ρ_{dmax}		(kg/m ³)	2 327.8	

试验方法		干土法
任意两个试验值的偏差范围(以平均值百分数表示)	(%)	0.94
标准差 S	(kg/m ³)	11.4
* T_p = 加重底板厚度, 12mm; * * w = 振毕湿试样含水率(%)		试验异常情况:

试验者	计算者	校核者
-----	-----	-----

4.6 精密度及允许差。

最大干密度应进行两次平行试验, 两次结果允许偏差应符合表 T 0133-3 的规定。取两次结果的平均值作为最大干密度, 试验结果精确至 0.01g/cm³。

表 T 0133-3 最大干密度试验结果精度

试料粒径 (mm)	标准差 S (kg/cm ³)	两个试验结果的允许范围 (以平均值百分数表示) (%)
< 5	± 13	2.7
5 ~ 60	± 22	4.1

(五)报告

5.1 试料来源, 外观描述。

5.2 试筒尺寸及方法。

5.3 任何反常现象，如试料损失、分离，加重底板过分倾斜等。

第 12 章 水泥或石灰稳定土中水泥或石灰剂量的测定方法

(EDTA 滴定法)

EDTA 滴定法的化学原理是：先用 10% 的 NH_4Cl 弱酸溶出水泥稳定土中的 Ca^{2+} ，然后用 EDTA 标准液夺取 Ca^{2+} ，EDTA 标准液的消耗与相应的水泥剂量(水泥剂量的大小正比于 Ca^{2+} 的数量)依附一定的近似线性关系。

一、目的和适用范围

本试验方法适用于在工地快速测定水泥和石灰稳定土中水泥和石灰的剂量，并可用以检查拌和的均匀性。

本办法适用于在水泥终凝之前的水泥含量测定，现场土样的掺石灰率应在路拌后尽快测试，否则需要用相应龄期的 EDTA 二钠的耗量的标准曲线确定。

用本方法进行一次剂量测定，只需 10min 左右。

现场取样方法：为减少取样的误差可用一个直径约 5cm 的透明塑料筒在取样点垂直切下直至该层底部，将筒内的混合料全部取出用于测定剂量，并量出灰土层的厚度。

本方法也可以用来测定水泥和石灰综合稳定土中结合料的剂量。

二、仪器设备

- 1 滴定管(酸式)50mL，1 支。
- 2 滴定台，1 个。
- 3 滴定管夹，1 个。
- 4 大肚移液管：10mL、50mL，10 支。
- 5 锥形瓶(即三角瓶)：200mL，20 个。
- 6 烧杯：2000mL(或 1000mL)，1 只；300mL，10 只。
- 7 容量瓶：1000mL，1 个。
- 8 搪瓷杯：容量大于 1200mL，10 只。
- 9 不锈钢棒(或粗玻璃棒)，10 根。
- 10 量筒：100mL 和 5mL，各一只；50mL，2 只。
- 11 棕色广口瓶：60mL，1 只(装钙红指示剂)。
- 12 电子天平：量程不小于 1500g，感量 0.01g。
- 13 秒表 1 只。
- 14 表面皿：φ9cm，10 个。
- 15 研钵：φ12~13cm，1 个。
- 16 洗耳球(1 两或 2 两)，1 个。
- 17 精密试纸：pH 12~14。

18 聚乙烯桶 20L, 3 个(装蒸馏水和装氯化铵及 EDTA 二钠标准液); 5L, 1 个(装氢氧化钠), 5L(大口桶)10 个。5L 的大口聚乙烯桶可采用 5L 装蒸馏水的桶, 但需将口剪大。

19 毛刷、去污粉、吸水管、塑料勺、特种铅笔、厘米纸。

20 洗瓶(塑料)500mL, 1 只。

三、试剂

(1) 0.1mol/m³ 乙二胺四乙酸二钠(EDTA 二钠)标准溶液(简称 EDTA 二钠标准溶液): 准确称取 EDTA 二钠(分析纯)37.23g, 用 40~50℃的无二氧化碳蒸馏水溶解, 待全部溶解并冷却至室温后, 定容至 1000mL。

(2) 10%氯化铵(NH₄Cl)溶液: 将 500g 氯化铵(分析纯或化学纯)放在 10L 的聚乙烯桶内, 加蒸馏水 4500mL, 充分振荡, 使氯化铵完全溶解。也可以分批在 1000mL 的烧杯内配制, 然后倒入塑料桶内摇匀。

(3) 1.8%氢氧化钠(内含三乙醇胺)溶液: 用电子天平称 18g 氢氧化钠(NaOH)(分析纯), 放入洁净干燥的 1000mL 烧杯中, 加 1000mL 蒸馏水使其全部溶解, 待溶液冷却至室温后, 加入 2mL 三乙醇胺(分析纯), 搅拌均匀后储于塑料桶中。

(4) 钙红指示剂: 将 0.2g 钙试剂羧酸钠(分子式 C₂₁H₁₃N₂NaO₇S, 分子量 460.39)与 20g 预先在 105℃烘箱中烘 1h 的硫酸钾混合。一起放入研钵中, 研成极细粉末, 储于棕色广口瓶中, 以防吸潮。

四、准备标准曲线

4.1 取样: 取工地用石灰和土, 风干后用烘干法测其含水量(如为水泥, 可假定含水量为 0)。

4.2 混合料组成的计算:

1)公式: 干料质量=湿料质量 / (1+含水量)

2)计算步骤:

(1)求干混合料质量=混合料湿料重 / (1+最佳含水量)

(2)干土质量=干混合料质量 / (1+石灰(或水泥)剂量)

(3)干石灰(或水泥)质量=干混合料质量—干土质量

(4)湿土质量=干土质量×(1+土的风干含水量)

(5)湿石灰质量=干石灰×(1+石灰的风干含水量)

(6)石灰土中应加入的水=混合料湿料重—湿土质量—湿石灰质量

4.3 准备 5 种试样, 每种两个样品(以水泥稳定材料为例), 如为水泥稳定中、粗粒土, 每个样品取 1000g 左右(如为细粒土, 则可称取 300g 左右)准备试验。为了减少中、粗粒土的离散, 宜按设计级配单份掺配的方式备料。

5 种混合料的水泥剂量应为: 水泥剂量为 0、最佳水泥剂量左右、最佳水泥剂量±2%和+4%^①, 每种剂量取两个(为湿质量)试样, 共 10 个试样, 并分别放在 10 个大口聚乙烯桶(如为稳定细粒土, 可用搪瓷杯或 1000mL 具塞三角瓶; 如为粗粒土, 可用 5L 的大口聚乙烯桶)内。土的含水量应等于工地预期达到的最佳含水量, 土中所加的水应与工地所用的水相同。

注①：在此，准备标准曲线的水泥剂量可为 0、2%、4%、6%、8%。如水泥剂量较高或较低，应保证工地实际所用水泥或石灰的剂量位于标准曲线所用剂量的中间。

4.4 取一个盛有试样的盛样器，在盛样器内加入两倍试样质量(湿料质量)体积的 10%氯化铵溶液(如湿料质量为 300g，则氯化铵溶液为 600mL；如湿料质量为 1000g，则氯化铵溶液为 2000mL)。料为 300g，则搅拌 3min(每分钟搅 110~120 次)；料为 1000g，则搅拌 5min。如用 1000mL 具塞三角瓶，则手握三角瓶(瓶口向上)用力振荡 3min(每分钟 120 次 $\pm$ 5 次)，以代替搅拌棒搅拌。放置沉淀 10min^②，然后将上部清液转移到 300mL 烧杯内，搅匀，加盖表面皿待测。

注②：如 10min 后得到的是混浊悬浮液，则应增加放置沉淀时间，直到出现无明显悬浮颗粒的悬浮液为止，并记录所需的时间。以后所有该种水泥(或石灰)稳定材料的试验，均应以同一时间为准。

试验操作过程中，每个样品搅拌的时间、速度和方式应力求相同，以减小试验误差。

4.5 用移液管吸取上层(液面上 1~2cm)悬浮液 10.0mL 放入 200mL 的三角瓶内，用量管量取 1.8% 氢氧化钠(内含三乙醇胺)溶液 50mL 倒入三角瓶中，此时溶液 pH 值为 12.5~13.0(可用 pH12~14 精密试纸检验)，然后加入钙红指示剂(质量约为 0.2g)，摇匀，溶液呈玫瑰红色。记录滴定管中 EDTA 二钠标准溶液的体积 V_1 ，然后用 EDTA 二钠标准溶液滴定，边滴定边摇匀，并仔细观察溶液的颜色；在溶液颜色变为紫色时，放慢滴定速度，并摇匀；直到纯蓝色为终点，记录滴定管中 EDTA 二钠标准溶液体积 V_2 (以 mL 计，读至 00.1mL)。计算 $V_1 - V_2$ ，即为 EDTA 二钠标准溶液的消耗量。

4.6 对其他几个盛样器中的试样，用同样的方法进行试验，并记录各自的 EDTA 二钠标准溶液的消耗量。

4.7 以同一水泥或石灰剂量稳定材料 EDTA 二钠标准溶液消耗量(mL)的平均值为纵坐标，以水泥或石灰剂量(%)为横坐标制图。两者的关系应是一根顺滑的曲线，如图 T 0809—1 所示。如素土、水泥或石灰改变，必须重做标准曲线。

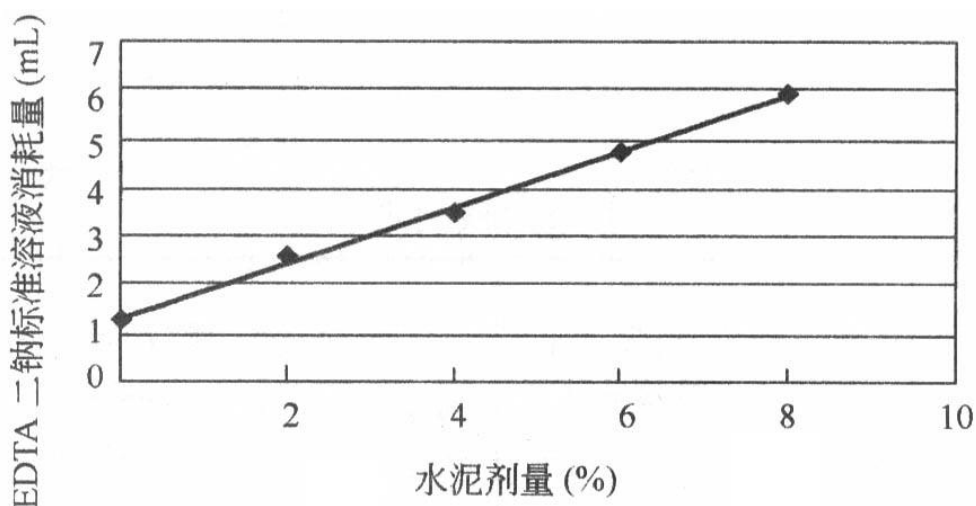


图 T 0809-1 EDTA 标准曲线

五、试验步骤

5.1 选取有代表性的无机结合料稳定材料，对稳定中、粗粒土取试样约 3000g，对稳定细粒土取试样约 1000g。

5.2 对水泥或石灰稳定细粒土，称 300g 放在搪瓷杯中，用搅拌棒将结块搅散，加 10%氯化铵溶液 600mL；对水泥或石灰稳定中、粗粒土，可直接称取 1000g 左右，放入 10%氯化铵溶液 2000mL，然后如前述步骤进行试验。

5.3 利用所绘制的标准曲线，根据 EDTA 二钠标准溶液消耗量，确定混合料中的水泥或石灰剂量。

六、结果整理

本试验应进行两次平行测定，取算术平均值，精确至 0.1mL。允许重复性误差不得大于均值的 5%，否则，重新进行试验。

七、报告

试验报告应包括以下内容：

- (1)无机结合料稳定材料名称；
- (2)试验方法名称；
- (3)试验数量 n ；
- (4)试验结果极小值和极大值；
- (5)试验结果平均值 $\bar{X}$ ；
- (6)试验结果标准差 S ；
- (7)试验结果变异系数 C_v 。

八、记录

本试验的记录格式见表 T 0809—1。

水泥或石灰剂量测定记录表

表 T 0809-1

工程名称 _____

试验方法 _____

结构层名称 _____

试验者 _____

稳定剂种类 _____

校核者 _____

试样编号 _____

试验日期 _____

标准曲线制定

平行试样	1			2			平均 EDTA 二钠 标准溶液消耗量 (mL)
剂量	V ₁ (mL)	V ₂ (mL)	EDTA 二钠 标准溶液消耗 量(mL)	V ₁ (mL)	V ₂ (mL)	EDTA 二钠 标准溶液消耗 量(mL)	
标准曲线公式							
试样编号	V ₁ (mL)	V ₂ (mL)	EDTA 二钠 标准溶液消耗 量(mL)	平均 EDTA 二钠标准 溶液消耗量(mL)		结合料剂量 (%)	
1							
2							

注意:

1. 每个样品搅拌的时间、速度和方式应力求相同, 以增加试验的精度。
2. 做标准曲线时, 如工地实际水泥剂量较大, 素集料和低剂量水泥的试样可以不做, 而直接用较高的剂量做试验, 但应有两种剂量大于实用剂量, 以及两种剂量小于实用剂量。
- 3 配制的氯化铵溶液最好当天用完, 不要放置过久, 以免影响试验的精度。控制好滴定的各环节, 在最后的环节中, 尤其应注意逐滴滴入 EDTA 二钠溶液, 才会得到较准确的数据, 从而对工程质量做出正确的评价。

第 13 章 路基混合材料配合比设计简介

一、概述

路基混合材料配合比设计的目的是通过试验室试配获得既满足设计和施工要求又比较经济的混合材料配合比。

采用《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015

二、主要试验仪器设备

- 1 标准筛
- 2 振筛机
- 3 电子秤
- 4 1000kN 万能试验机
- 5 养生室
- 6 泡水池

三、试验方法

- 1 首先对所用的各种原材料进行分析试验，确保使用合格的原材料。
- 2 利用各级石料的筛分结果，确定各级石料的使用比例，使全部石料的颗粒级配曲线在规范规定的范围之内。
- 3 分别选用几个不同的结合材料掺量比例，按最佳含水量试拌并分别制作抗压强度试件（一般采用最大干密度及最佳含水量经验值，必要时先进行标准击实），按无机结合料混合材料抗压强度试验方法测定其 7 天抗压强度。
- 4 按各组 7 天抗压强度测定值确定采用哪一个结合材料掺量比例。
- 5 当采用经验值制作试件时，应按确定的材料比例进行标准击实试验。
- 6 确定最终配合比，并提供该配合比下的最大干密度和最佳含水量。

第 14 章 有机质含量试验

测定有机质的方法很多，有容量法、质量法、比色法等。但应用普遍的为容量法。在容量分析法中最普遍的则是 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 法。故本规程选用了重铬酸钾容量法。因该法的氧化能力有一定限度，有机质含量大于 15% 的土样不宜直接采用该法测定。若要测定时，可称磨细土样 1 份(准确到 1mg)与经过高温灼烧并磨细的矿质土 9 份(准确到 1mg)充分混匀；再从中称样分析，其结果以称样量的 1 / 10 计算。

若土样中含有 Cl^- 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等还原性物质，则须去除或经校正，否则本法不适用。

一、目的和适用范围

本试验的目的在于了解土中有机质的含量。本试验方法适用于有机质含量不超过 15% 的土。测定方法采用重铬酸钾容量法--油浴加热法。

二、仪器设备

- 2.1 分析天平：称量 200g。
- 2.2 电炉：附自动控温调节器。
- 2.3 油浴锅：应带铁丝笼。
- 2.4 温度计：0~250℃，精度 1℃。

三、试剂

1 0.0750mol/L $\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液：用分析天平称取经 105~110℃ 烘干并研细的重铬酸钾 44.1231g，溶于 800mL 蒸馏水中(必要时可加热)，缓缓加入浓硫酸 1000mL，边加入边搅拌，冷却至室温后用水定容至 2L。

2 0.2mol/L 硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液：称取硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 分析纯)56g 或硫酸亚铁铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 80g，溶于蒸馏水中，加 15mL 浓硫酸(密度 1.84g / mL 化学纯)。然后加蒸馏水稀释至 1L，密封贮于棕色瓶中。

3 邻菲咯啉指示剂：称取邻菲咯啉($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)1.485g，硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)0.695g，溶于 100mL 蒸馏水中，此时试剂与 Fe^{2+} 形成红棕色络合物，即 $[\text{Fe}(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2)_3]^{2+}$ 。贮于棕色滴瓶中。

4 石蜡(固体)或植物油 2kg。

5 浓硫酸(H_2SO_4)(密度 1.84g / mL 化学纯)。

6 灼烧过的浮石粉或土样：取浮石或矿质土约 200g，磨细并通过 0.25mm 筛，分散装入数个瓷蒸发皿中，在 700~800℃ 的高温炉内灼烧 1~2h，把有机质完全烧尽后备用。

四、硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液的标定

准确吸取 $K_2Cr_2O_7$ 标准溶液 3 份, 每份 20mL 分别注入 150mL 锥形瓶中, 用蒸馏水稀释至 60mL 左右, 滴入邻菲咯啉指示剂 3~5 滴, 用硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液进行滴定, 使锥形瓶中的溶液由橙黄经蓝绿色突变至橙红色为止。按用量计算硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液的浓度, 准确至 0.0001mol/L , 取 3 份计算结果的算术平均值即为硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液的标准浓度。

五、试验步骤

1 用分析天平准确称取通过 0.15mm 筛的风干土样 $0.1000\sim0.5000\text{g}$, 放入一干燥的硬质试管中, 用滴定管准确加入 $0.0750\text{mol/L} \frac{1}{6} K_2Cr_2O_7 - H_2SO_4$ 标准溶液 10mL(在加入 3mL 时摇动试管使土样分散), 并在试管口插入一小玻璃漏斗, 以冷凝蒸出之水汽。

2 将 8~10 个已装入土样和标准溶液的试管插入铁丝笼中(每笼中均有 1~2 个空白试管), 然后将铁丝笼放入温度为 $185\sim190^\circ\text{C}$ 的石蜡油浴锅中, 试管内的液面应低于油面。要求放入后油浴锅内油温下降至 $170\sim180^\circ\text{C}$, 以后应注意控制电炉, 使油温维持在 $170\sim180^\circ\text{C}$, 待试管内试液沸腾时开始计时, 煮沸 5min, 取出试管稍冷, 并擦净试管外部油液。

3 将试管内试样倾入 250mL 锥形瓶中, 用水洗净试管内部及小玻璃漏斗, 使锥形瓶中的溶液总体积达 $60\sim70\text{mL}$, 然后加入邻菲咯啉指示剂 3~5 滴, 摇匀, 用硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)标准溶液滴定, 溶液由橙黄色经蓝绿色突变为橙红色时即为终点, 记下硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)标准溶液的用量, 精确至 0.01mL 。

4 空白标定: 即用灼烧土代替土样, 取 2 个试样, 其他操作均与土样试验相同, 记录硫酸亚铁用量。

有机质是指土中碳、氮、氢、氧为主, 还有少量硫、磷和金属元素组成的有机化合物。本试验仅测定土中的有机碳, 再乘以 1.724 的经验系数和 1.1 的氧化校正系数后换算为有机质, 以烘干土的质量百分比表示。

六、结果整理

6.1 有机质含量按下式计算

$$\text{有机质}(\%) = \frac{C_{FeSO_4} (V'_{FeSO_4} - V_{FeSO_4}) \times 0.003 \times 1.724 \times 1.1}{m_s}$$

式中: C_{FeSO_4} ——硫酸亚铁标准溶液的浓度(mol/L);

V'_{FeSO_4} ——空白标定时用去的硫酸亚铁标准溶液的量(mL);

V_{FeSO_4} ——测定土样时所用去的硫酸亚铁标准溶液的量(mL);

m_s ——土样质量(将风干土换算为烘干土)(g);

0.003——1/4 碳原子的摩尔质量(g/mmol);

1.724——有机碳换算成有机质的系数;

1.1——氧化校正系数。

6.2 本试验记录格式如表 T 0151-1。

表 T 0151-1 有机质含量试验记录

工程编号			试验计算者		
土样编号			校 核 者		
土样说明			试 验 日 期		
硫酸亚铁标准液浓度:0.143 4 0.029mol/L					
试验次数			1	2	
土样质量	m_s	(g)	0.399 2	0.401 6	
空白标定消耗硫酸亚铁标准液的量	V'_{FeSO_4}	(mL)	滴定前读数	0.00	0.00
		滴定后读数	24.87	24.87	
		滴定消耗	24.87	24.87	
滴定土样消耗标准液的量	V_{FeSO_4}	(mL)	滴定前读数	0.00	0.00
		滴定后读数	19.20	19.20	
		滴定消耗	19.20	19.20	
有机质(%)			1.16	1.15	
平均有机质(%)			1.15		

注:①如滴定消耗硫酸亚铁标准液小于 10mL,应适当减少土样量,重做。
 ②如用邻苯氨基苯甲酸为指示剂滴定时,瓶内溶液不宜超过 60~70mL,滴定前溶液呈棕红色,终点为暗绿色(或灰蓝绿色)。
 ③本法氧化有机质程度平均约 90%,故应乘以 1.1 才为土的有机质含量。

注:①如滴定消耗硫酸亚铁标准液小于 10mL,应适当减少土样量,重做。
 ②如用邻苯氨基苯甲酸为指示剂滴定时,瓶内溶液不宜超过 60~70mL,滴定前溶液呈棕红色,终点为暗绿色(或灰蓝绿色)。
 ③本法氧化有机质程度平均约 90%,故应乘以 1.1 才为土的有机质含量。

6.3 精密度和允许差。

有机质含量试验结果精度应符合表 T 0151.2 的规定。

表 T 0151-2 有机质测定的允许偏差

测定值(%)	绝对偏差(%)	相对偏差(%)
10~5	<0.3	3~4
5~1	<0.2	4~5
1~0.1	<0.05	5~6
0.1~0.05	<0.004	6~7
0.05~0.01	<0.006	7~9
<0.01	<0.008	9~15

七、报告

7.1 有机质土代号。

7.2 土的有机质含量(%)。

自然界中由于生物的活动而堆积下来的有机物，最常见的是植物的残余物。这些残余物也像水溶盐一样，或者构成一段很大的风化壳(泥炭、煤)，或者夹杂在岩土中。

植物残余物的分解程度是不相同的，他们常呈三种状态存在于岩土中，即植物残骸、泥炭和腐殖质。而腐殖质是土中常见的有机矿物，它的颗粒很细，属于黏粒，对土的性质有很大的影响。

泥炭物质和腐殖质的一个特殊的性质就是其高度的亲水性。因而使之具有较高的水容度、较高的可塑性、较高的压缩性和较低的透水性及抗剪强度等。所以，夹杂在土中的有机质必然影响着土的性质。其中特别是对细粒砂的影响，更为突出。在这种砂中，即使有机质的含量很少，也会使这些砂在具备条件的情况下，表现出具有特殊的流砂状态。

有机质对土性质的影响，主要取决于下列因素：

(1)土中有机质的含量。

(2)土中有机质的成分，特别是有机物中灰分的含量。

(3)土中有机质的分解程度。

(4)腐殖质的物理化学状态，这种状态也像黏土矿物一样决定于补给腐殖质土的水溶液的成分。

很显然，土中有机残余物的含量愈大，分解程度愈高，则其对土的工程性质的影响也越强烈。补给水的矿化度越小，则腐殖质的亲水性表现越明显，同时对土的工程性质的影响也越强烈。水溶液的离子成分也同样影响它的亲水性，例如溶液中以钠盐为主的腐殖质比以钙盐为主的腐殖质亲水性更强。

第 15 章 易溶盐总量的测定--质量法

测定易溶盐总量的方法有质量法、电导法等。本规程采用质量法。该法不需要特殊的仪器设备，且比较精确，故在室内分析中应用广泛。电导法虽然简单、快速，但受各种因素如颗粒成分、盐分组成、温度等影响，故本规程未采用。

一、目的和适用范围

本试验法适用于各类土。

二、仪器设备

- 1 分析天平：称量 200g，感量 0.0001g；
- 2 水浴锅、瓷蒸发皿、干燥器。

三、试剂

- 1 15%的 H_2O_2 。
- 2 2%的 Na_2CO_3 溶液：2.0g 无水 Na_2CO_3 溶于少量水中，稀释至 100mL。

土中易溶盐包括所有氯化物盐类、易溶的硫酸盐类和碳酸盐类，还包括水溶性有机质等。在采用质量法测定水溶性盐总量时，应用 H_2O_2 除去烘干残渣中的有机质后，即为水溶性盐总量。

四、易溶盐待测液制备

- 1、称取通过 1mm 筛孔的烘干土样 50~100g（视土中含盐量和分析项目而定），精确至 0.01g，放入干燥的 1000mL 广口塑料瓶中(或 1000mL 三角瓶内)。按土水比例 1:5 加入不含二氧化碳的蒸馏水(即把蒸馏水煮沸 10min，迅速冷却)，盖好瓶塞，在振荡机上(或用手剧烈振荡)3min，立即进行过滤。
- 2、采用抽气过滤时，滤前须将滤纸剪成与平底瓷漏底部同样大小，并平放在漏斗底上先加少量蒸馏水抽滤，使滤纸与漏斗底密接。然后换上另一个干洁的抽滤瓶进行抽滤。抽滤时要把土悬浊液摇匀后倾入漏斗，使土粒在漏斗底上铺成薄层，填塞滤纸孔隙，以阻止细土粒通过，在往漏斗内倾入土悬浊液前须先行打开抽气设备，轻微抽气，可避免滤纸浮起，以致滤液浑浊。漏斗上要盖一表皿，以防水汽蒸发。如发现滤液浑浊，须反复过滤至澄清为止。3.3 当发现抽滤方式不能达到滤液澄清时，应用离心机分离。所得的透明滤液，即为水溶性盐的浸出液。
- 3、水溶性盐的浸出液，不能久放。pH、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 离子等项测定，应立即进行，其他离子的测定最好都能在当天做完。

五、试验步骤

1 用移液管吸取浸出液 50mL 或 100mL(视易溶盐含量多少而定),注入已经在 105~110℃烘至恒量(前后两次质量之差不大于 1mg)的瓷蒸发皿中,盖上表皿,架空放在沸腾水浴上蒸干(若吸取溶液太多时,可分次蒸干)。蒸干后残渣如呈现黄褐色时(有机质所致),应加入 15% H_2O_2 1~3mL,继续在水浴锅上蒸干,反复处理至黄褐色消失。

2 将蒸发皿放入 105~110℃的烘箱中烘干 4~8h,取出后放入干燥器中冷却 0.5h,称量。再重复烘干 2~4h,冷却 0.5h,用分析天平称量、反复进行至前后两次质量差值不大于 0.000 1g。

五、结果整理

5.1 易溶盐总量按下式计算:

$$\text{易溶盐总量}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_s} \times 100$$

式中: m_2 ——蒸发皿加蒸干残渣质量(g),计算至 0.001;

m_1 ——蒸发皿质量(g);

m_s ——相当于 50mL 或 100mL 浸出液的干土样质量(g)。

5.2 易溶盐总量试验

记录格式如表 T 0153.1。

表 T 0153-1 易溶盐总量试验记录表

工程编号	_____	试验计算者	_____
土样编号	_____	校 核 者	_____
土样说明	_____	试 验 日 期	_____
吸取浸出液体积 V	(mL)	50	
试验次数		1	2
残渣 + 蒸发皿的质量	(g)	57.397 4	57.482 8
蒸发皿的质量	(g)	57.385 0	57.470 0
残渣的质量		0.012 4	0.012 8
全盐量	(%)	0.124	0.128
全盐量平均值	(%)	0.126	

注:①残渣中如果 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的含量较高时,105~110℃不能除尽这些水合物中所含的结晶水,在称量时较难达到“恒量”,遇此情况应在 180℃烘干。但潮湿盐土含 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的量较高,这类化合物极易吸湿、水解,即使在 180℃干燥,也不能得到满意结果。遇到这样土样,可在浸出液中先加入 10mL 2% Na_2CO_3 溶液,蒸干时即生成 NaCl 、 Na_2SO_4 、 CaCO_3 、 MgCO_3 等沉淀,再在 180℃烘干 2h,即可达到“恒量”,加入的 Na_2CO_3 量应从盐分总量中减去。

② 由于盐分(特别是镁盐)在空气中容易吸水,故在相同的时间和条件下冷却称量。

5.3 精密度和允许差。

易溶盐总量试验结果精度应符合表 T 0153.2 的规定。

表 T 0153.2 易溶盐总量(质量法)两次测定的允许偏差

表 T 0153-2 易溶盐总量(质量法)两次测定的允许偏差

全盐量范围(%)	允许相对偏差(%)	全盐量范围(%)	允许相对偏差(%)
< 0.05	15 ~ 20	0.2 ~ 0.4	5 ~ 10
0.05 ~ 0.2	10 ~ 15	> 0.5	< 5

六、报告

6.1 土的状态描述。

6.2 土的易溶盐总量(%)。