

道路试验与检测

DAOLU SHIYAN YU JIANCE

主编 / 胡幼常

道路试验与检测

胡幼常 主 编

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书的主要内容包括道路工程施工过程和交工验收阶段中常涉及的主要试验与检测方法。全书共分4章,第1章介绍了道路工程中的主要土工试验,着重介绍了与试验相关的基本理论和试验方法;第2章介绍了公路桥涵地基常用到的原位测试方法,主要介绍了这些原位测试方法的基本原理、成果整理和应用范围;第3章介绍了沥青及沥青混合料的常用试验与检测方法;第4章介绍了主要的路基路面现场测试方法。本书着眼于工程实际,后两章主要介绍了试验目的、应用范围和试验步骤。

本书可作为道路与桥梁专业硕士研究生,特别是专业学位硕士研究生的教材,也可作为道路与桥梁专业本、专科学生的课外读物及道路施工技术人员的参考手册。

图书在版编目(CIP)数据

道路试验与检测/胡幼常主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2015.12

ISBN 978-7-5629-5062-2

I. ①道… II. ①胡… III. ①道路试验-检测 IV. ①U416.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 273324 号

项目负责人:陈军东

责任编辑:张莉娟

责任校对:梁雪姣

装帧设计:正风图文

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:13.5

字 数:264 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版

印 次:2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有,盗版必究 •

前 言

我国的公路建设自 20 世纪 80 年代以来得到了飞速发展。截至 2014 年年底,全国公路总里程达 446.39 万千米,其中二级及二级以上公路里程为 54.56 万千米,高速公路里程为 11.19 万千米。公路的发展使得相关的专业人才需求旺盛,使得专业人才的知识层次也不断提高。根据近年来硕士研究生培养目标向应用型人才转变的趋势,在道路与桥梁专业硕士研究生的课程体系中,适当增加偏重于实际应用的相关课程是很有必要的。本书就是在这样的背景下编写而成的。

考虑到高等级公路中沥青路面所占比例大,本书主要围绕含沥青路面的公路工程常碰到的试验与检测问题而编写,内容包括路基土工试验、地基原位测试、沥青及沥青混合料试验和路基路面现场测试。由于篇幅所限,本书没有介绍路面基层及水泥混凝土等其他路面的试验与检测内容。

限于编者的水平,书中难免有不当或错误之处,敬请读者批评指正。

本书得到了武汉理工大学教材出版基金的资助,在此表示衷心感谢!

编 者
2015 年 9 月

目 录

1	道路工程中的主要土工试验	1
1.1	土的含水率及液、塑限试验	1
1.2	固结试验	13
1.3	击实试验	34
1.4	承载比试验	50
1.5	土的回弹模量试验	54
1.6	三轴压缩试验	57
1.7	无侧限抗压试验	70
2	地基原位测试方法	74
2.1	浅层平板载荷试验	75
2.2	圆锥动力触探试验	83
2.3	静力触探试验	87
2.4	其他地基原位测试方法简介	97
3	沥青及沥青混合料试验	101
3.1	沥青试验	101
3.2	沥青混合料试验	117
4	路基路面现场测试	164
4.1	路面厚度检测	164
4.2	压实度检测	168
4.3	平整度测试	181
4.4	路基路面强度和刚度现场测试	186
4.5	路面抗滑性能测试	197
4.6	沥青路面渗水系数测试方法	203
4.7	沥青路面车辙测试方法	204
	参考文献	209

1 道路工程中的主要土工试验

土在道路工程中主要有两类用途,一类是作为桥梁、涵洞等结构物以及路基的地基,另一类是作为路堤的填料。无论哪类用途,都需要判别其适用性,判别的主要手段就是土工试验。土工试验又分为室内试验和野外原位试验,前者简单、经济,试验条件可控,测试结果精度高,但需要取样。由于取样过程中存在不可避免的扰动等问题,试验结果不能精确反映地基土层的真实情况。但是,对于作为路堤填料的土而言,本身就不是原状土,室内试验能较好地反映实际情况。野外原位试验对土层的扰动极小,测试结果能很好地反映地基土层的物理力学性质,但一般费用较高,费时费力,仅在需要时采用。本章仅介绍道路工程施工过程中常用的室内土工试验。

1.1 土的含水率及液、塑限试验

土体中含水的多少对细粒土的物理状态和力学性质有直接的影响。在道路工程中,填方路基几乎都是用土分层填筑的,土中水的多少还对其压实特性有重要影响。因此采用何种指标可以准确反映水对土的这些工程性质的影响和如何测定这些指标是道路工程中要解决的基本问题。对于道路工程来说,这方面主要采用土的含水率、界限含水率以及由其计算得出的塑性指数和液性指数等指标来描述土的工程性质与水的关系。而在界限含水率中塑限和液限对路基施工有直接的指导意义。

1.1.1 含水率试验

1.1.1.1 含水率的定义和试验适用范围

含水率定义为土中水的质量与干土质量之比,计算公式如式(1-1)所示。

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

式中 w ——土的含水率,常用百分数表示;

m ——湿土质量,g;

m_d ——干土质量,g;

m_w ——土中水的质量, g。

其中,干土质量为试样在烘箱中以 105~110℃ 的恒温烘至恒重时的质量。

本试验适用于粗粒土、细粒土和有机质土。当土中有机质含量超过干土质量的 5% 时,烘箱温度应控制在 65~70℃ 范围内,以免其中的有机质(特别是腐殖酸)烧失,使测得的试样含水率高于实际值。

1.1.1.2 试验方法

在道路工程中,测定材料(不仅仅是土)含水率的方法较多,其中以烘干法、酒精燃烧法、核子仪法为常用方法,还可采用微波法。在这些方法中以烘干法为标准方法,其他方法都宜采用烘干法做对比标定。

(1) 烘干法:将质量为 m 的湿土试样置于电烘箱中,保持烘箱内温度为 105~110℃ 的恒温,直至试样烘至恒定质量 m_d (一般需 10 h 以上),即可按式(1-1)计算出该试样的含水率。该法测得的含水率精度高,结果稳定,公路工程中以此法为标准方法。但烘干法出结果的时间比较长,一般要在第 2 天才能出结果。因此,进行标定后,在施工过程中也可采用以下的快速测定法。

试样数量的多少将影响到烘干所需时间长短,对含水率的测定精度也有一定影响。根据经验,黏质土取 15~30 g;砂质土、砾质土因持水性差,颗粒大小相差悬殊,含水率易于变化,应多取一些,一般不应少于 50 g。颗粒越粗的土,试样质量应取得越多。在路基路面施工中,当用灌砂法测量现场压实度时,用于含水率测定的每个试样的数量规定如下^[1]:用小型灌砂筒测定时,对于细粒土,不少于 100 g;对于各种中粒土,不少于 500 g。用大型灌砂筒测定时,对于细粒土,不少于 200 g;对于各种中粒土,不少于 1000 g;对于粗粒土或水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定的材料,宜将取出的全部材料烘干,且不少于 2000 g。

含水率测定必须进行平行试验,以避免操作错误。含水率在 40% 以下的土,允许平行差为 1%;含水率大于或等于 40% 的土,允许平行差为 2%。

(2) 酒精燃烧法:在装有湿土试样的土盒内用滴管加入酒精至土样刚好被酒精淹没,点燃酒精,使水分随燃烧的酒精而蒸发,直至火焰熄灭。再用同样的方法重复燃烧两次或两次以上(以保证土样烧透为原则),称取干土质量。该法不能准确控制水的烧失温度为 105~110℃ 的恒温条件,测得的含水率一般会低于烘干法测得的含水率。在道路工程中,酒精燃烧法仅用于现场快速测定土层含水率,以供估算实测干密度之用。结合工程经验,按估算的干密度判断所测填土层压实度满足要求时(这里要考虑到因酒精燃烧法测得的含水率可能偏低,据此计算的干密度会比实际值大的因素,所以要结合经验来判断),可立即铺填上面一层土,以达到加快工程进度的目的。但准确的含水率数据还必须以烘干法测得的为准。

在采用酒精燃烧法测定土的含水率时,需特别注意酒精的规范使用,以免引起

烧伤或火灾事故。要遵循以下基本操作规则:①酒精必须采用滴管加入,盛酒精的容器应距离待燃烧的试样 2 m 以外,并将密封盖盖紧;②重复加酒精前必须待火焰熄灭,并切忌直接往土盒中倾倒酒精,以免引燃容器中的酒精;③点火时土盒应离开身体一定距离,伸手点火时也不得俯身于土盒之上,以免火苗灼伤面部,因为在明亮的环境下肉眼不易看见酒精火焰。

(3) 核子仪法^[2]:在道路工程中,核子密度湿度仪已得到广泛应用,是现场快速测定材料密度和含水率的仪器。其测量依据是仪器所接收的 γ 射线和热中子计数率分别与被测材料的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含水率测量的标定曲线,则可根据仪器现场测量记录到的 γ 射线和热中子计数率,按相应的标定曲线,确定被测材料的密度和含水率。该法的关键是标定曲线的确定。不同材料的标定曲线是不一样的,所以所测材料一定要与标定材料在颗粒组成上相同。被测材料的温度对测量结果也有影响,所以在施工过程中每隔一定时间就须对仪器进行一次标定。

(4) 微波法^[2]: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受热,因此具有均匀、快速的优点。如应用在填方路基、粒料或无机结合料路面基层施工中,将加快质量检测速度,及时得到质量检测数据。这对缩短工期、节约工程造价会有明显的效果。但微波加热的温度如何控制、应烘干多长时间、适用于哪类土等问题,还有待进一步研究。美国于 1998 年将此法列入 ASTM (美国材料与试验协会)标准。

1.1.2 液、塑限试验

1.1.2.1 液限和塑限的定义

我们在日常生活中有这样的感性认识,干燥的泥土坚硬、易碎,一定湿度的泥土具有类似面团的柔软性和可塑性,浸泡在水中的泥土会成为稀泥浆。其实这些都是黏性土的物理状态随其含水率的不同而变化的外在表现,亦即当黏性土的含水率从零慢慢增大时,它会由固态慢慢变成可塑态,直至液态,同时其工程性质也会随之发生显著变化。在工程实践中,我们需要判别黏性土在某一含水率下处于何种软硬状态(在土力学中将此称为黏性土的稠度),以确定它所具有的工程性质(这里主要是强度和变形特性,以及施工性能)。因此,必须根据黏性土的工程性质来划分黏性土的稠度状态。不同稠度状态间的分界含水率就是界限含水率。

土力学中的黏性土稠度状态划分及区分其稠度状态的界限含水率起源于瑞典农业土壤学家阿太堡(A. Atterberg, 1911)^[3]。从描述工程性质的角度,具有实用

意义的是其中的塑限 w_p 和液限 w_L (图 1-1)。当黏性土的含水率 $w > w_L$ 时,土体处于流动的液态,抗剪强度为零;当 $w < w_p$ 时,土体处于固体状态,抗剪强度最大;当 $w_p < w < w_L$ 时,土体处于可塑状态,黏性土具有可塑性。所谓可塑性,是指在外力作用下可以塑成任意形状而不产生裂缝或体积改变,而当外力移除后还能保持既得变形的性质。所以液限和塑限的差值反映了黏性土具有可塑性的含水率变化范围,亦表征了黏性土可塑性的大小。

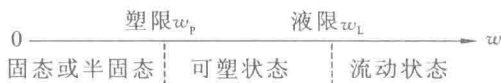


图 1-1 黏性土的稠度状态与含水率的关系

黏土颗粒因其表面带有负电荷,所以在有水的环境下能够吸附水分子和阳离子。如图 1-2 所示,在紧靠颗粒表面的一定范围内,由于静电引力巨大,所吸附的水近乎呈固态,这层水称为强结合水。在强结合水外围一定范围内,静电引力有所减弱,但仍较大,该范围内的水分子呈黏滞状态,不能自由移动,只能由水膜厚的地方向水膜薄的地方缓慢迁移,称为弱结合水或薄膜水。弱结合水外围一定范围内,静电引力已小到可以忽略,其中的水仅受重力作用,称为自由水。塑限 w_p 的本质含义是:当黏性土的含水率等于塑限时,土粒刚好将弱结合水吸饱。而液限 w_L 的本质含义是:当黏性土的含水率等于液限时,土粒刚好将强结合水吸饱。由于黏土颗粒越细,则比表面积越大,相同质量的土粒所带负电荷越多,能吸附的水量也就越大(所以液限 w_L 越高),弱结合水膜越厚(所以液限 w_L 与塑限 w_p 的差值也就越大),土的可塑性也越大。将液限 w_L 与塑限 w_p 之差称为塑性指数,用 I_p 表示。习惯上 I_p 的大小在数值上是按液限 w_L 与塑限 w_p 之差的 100 倍来记录的,即:

$$I_p = (w_L - w_p) \times 100 \quad (1-2)$$

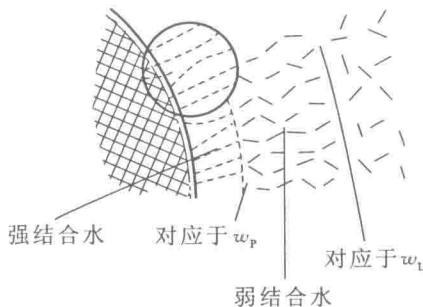


图 1-2 黏性土塑限和液限的本质含义示意图

可见,液限和塑性指数大小与细粒土的成分和土粒粗细有对应关系,液限或塑

性指数越大,则土的颗粒越细或细颗粒所占比例越大。这是细粒土可以依据塑性图进行分类的根本原因。

1.1.2.2 液、塑限试验方法

测定液限的基本方法是碟式仪法和圆锥法。美国等国家采用卡氏碟式仪法,我国长期以来以圆锥法为主。国际上虽然对液限的测定没有统一的标准,但各国的标准均以美国卡氏碟式仪法作为比较基础,以所测结果与美国标准方法等效为准则^[2]。《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)、《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)^[4]都列入了碟式仪法和圆锥法。

测定塑限的传统方法是滚搓法。该法对试验者的技能要求较高,不易掌握,且试验结果对操作者的个人水平依赖度高,结果可靠性和一致性较差。20 世纪 70 年代后期,原水利电力部、冶金部和交通部公路系统进行了大量的比较试验。经过多年的经验积累和对比试验,对碟式仪法和滚搓法进行了相关分析,确定了用圆锥仪测定液限和塑限等效于用碟式仪法和滚搓法测定的贯入深度,建立了液、塑限联合测定法^[2]。这种联合测定法的可操作性得到了极大的改善。

(1) 液、塑限联合测定法

① 理论依据^[2]:液、塑限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。

如图 1-3 所示,设 P 代表圆锥的重力, A 代表锥体与土的接触面积,则沿锥-土接触面的极限剪应力为:

$$\tau = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{A} \quad (1-3)$$

式中 α ——圆锥顶角,为 30° 。

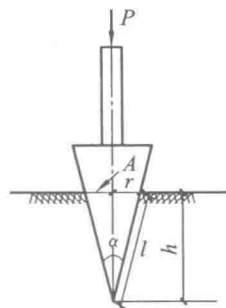


图 1-3 圆锥仪

$$A = \pi r l = \pi h^2 \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad (1-4)$$

所以

$$\tau = \frac{P \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\pi h^2 \tan \frac{\alpha}{2}} = C \frac{P}{h^2} \quad (1-5)$$

式中 C ——圆锥形状系数。

由式(1-5)得:

$$\lg \tau = -2 \lg h + \lg (CP) = C_1 - 2 \lg h \quad (1-6)$$

上式表明,圆锥入土深度与土样的抗剪强度存在双对数线性关系。某单位对多种土用小十字板剪切仪和无侧限压缩仪进行的不同含水率和抗剪强度与对应圆

锥入土深度的试验成果也证实了上述关系的存在(图 1-4)。

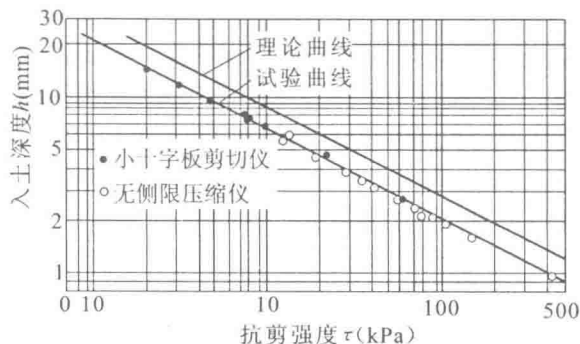


图 1-4 圆锥入土深度与抗剪强度关系^[2]

根据已有的试验研究,重塑土的无侧限抗压强度与含水率也存在双对数关系,并可表达为下式:

$$\lg \tau = C_2 - m \lg w \quad (1-7)$$

由式(1-6)和式(1-7)可得:

$$\lg h = \frac{1}{2} [m \lg w + (C_1 - C_2)] \quad (1-8)$$

式(1-8)表明圆锥入土深度 h 与试样含水率成双对数关系。

② 液、塑限标准的确定

a. 液限标准。液限是黏性土从可塑态过渡到液态的分界含水率。当试样的含水率等于液限时,试样有最小可度量的抗剪强度,理论上是强度“从有到无”的分界点,这是采用各种方法等效的标准^[2]。按卡氏碟式仪测得的液限为标准,卡氏试验得到土在液限状态时的不排水强度为 2~3 kPa。原水利电力部、冶金部、交通部公路系统用不同质量的圆锥仪,对不同地区、不同土类测定不同入土深度下土的十字板剪切强度和无侧限抗压强度的结果表明:76 g 锥入土深度 17 mm 和 100 g 锥入土深度 20 mm 时土的强度与卡氏碟式仪测得液限时土的强度(平均值)一致,说明这两种标准与卡氏碟式仪等效^[2]。所以国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)和《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)等以 76 g 锥入土深度 17 mm 时的含水率作为液限标准,而交通部《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)以 100 g 锥入土深度 20 mm 为液限标准。当使用国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)确定黏性土地基承载力时,按 76 g 锥入土深度 10 mm 时的液限计算塑性指数和液性指数,是配套的专门规范^[5]。

b. 塑限标准。塑限的传统测定方法是滚搓法,因为试验过程完全为手工操作,试验结果很大程度上受试验者操作技能的影响,测值稳定性差。采用圆锥法的关键是如何确定塑限时圆锥的入土深度。该入土深度的确定应以试样的含水率与

滚搓法得到的塑限相等为原则。与液限一样,塑限也可从圆锥入土深度与土的抗剪强度关系来间接确定。比较试验得到,相当于滚搓法塑限的平均强度值为 143 kPa,而 76 g 锥入土深度 2 mm 时的平均强度为 156 kPa,两者很接近^[2]。所以《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)及大部分行业标准中取 76 g 锥入土深度 2 mm 的试样含水率为塑限标准。

而交通部的《公路土工试验规程》(JTJ E40—2007)则根据试验结果得到的塑限时圆锥入土深度 h_p 与液限 w_L 的经验曲线(图 1-5),按液限 w_L 来确定塑限入土深度 h_p 。其中,砂类土(指可搓成条的砂类土)的 h_p - w_L 关系采用多项式拟合曲线;细粒土的 h_p - w_L 关系采用双曲线拟合曲线。之所以这样来确定塑限入土深度,是因为圆锥入土深度受到土质、土的物理状态(湿度和密度状态)和土的结构三大因素的影响,对于扰动土来说,结构的影响已消除。所以在测定塑限时,必须先控制试样的密实度。研究表明,当土的干密度与其饱和干密度的比值 k_2 为 0.95~1.0 时,各类细粒土的圆锥入土深度与含水率在对数坐标上呈线性关系,所以应使试验时试样的密实度达到 $k_2=0.95\sim 1.0$ 的标准。土质对塑限入土深度的影响则以哈尔滨建筑工程学院对三种土在不同含水率和密实度下进行的 500 余组剪切试验整理出的剪应力 τ_f 与试锥入土深度 h 曲线来反映,并归纳出了图 1-5 所示的细粒土和砂类土的 h_p - w_L 关系曲线。

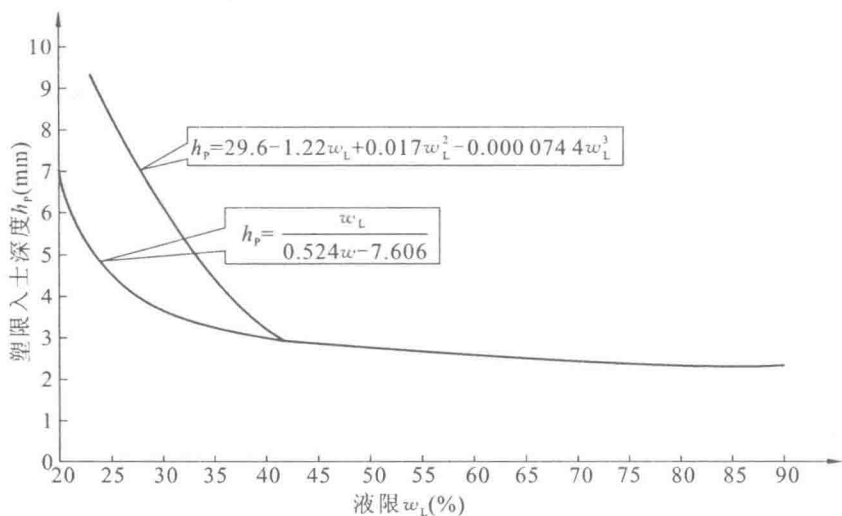


图 1-5 h_p - w_L 关系曲线

③ 联合测定法的试验操作^[4]

a. 取有代表性的天然含水率或风干土样进行试验。如土中含粒径大于 0.5 mm 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 0.5 mm 的筛。取 0.5 mm 筛下的代表性土样约 200 g,分别放入三个盛土皿中,加不同体积的蒸馏水,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(b 点)。用调土刀调匀,盖上湿布,放置 18 h 以上。测定 a 点的锥入深度,对于 100 g 锥应为 $20 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$;对于 76 g 锥应为 17 mm。测定 c 点的锥入深度,对于 100 g 锥应控制在 5 mm 以下;对于 76 g 锥应控制在 2 mm 以下。对于砂类土,用 100 g 锥测定 c 点的锥入深度可大于 5 mm,用 76 g 锥测定 c 点的锥入深度可大于 2 mm。

b. 将制备的土样充分搅拌均匀,分层装入盛土杯。装样时宜以略倾斜的角度从一侧开始,逐层用力压密,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。

c. 当用游标式或百分表式液塑限联合测定仪进行试验时,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(注意凡士林应涂抹均匀,以薄薄的一层均匀裹覆高度不小于 20 mm 锥头部分,既不得有未涂到而外露的表面,也不得有多余堆积的凡士林)。

d. 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,扭动下降旋钮,同时按动秒表,经 5 s 后松开旋钮,锥体停止下落,此时游标读数即为锥入深度 h_1 。

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

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

g. 重复本试验步骤 b~f,对其他两个含水率土样进行试验,测其锥入深度和含水率。

h. 用光电式(图 1-6)或数码式液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(此时刻度或数码管显示应为零)。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,5 s 后自动停止下落,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。

i. 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 - w 关系图(图 1-7)。连此三点,应呈一条直线。如三点不在同一直线上,要通过 a 点分别与 b 、 c 两点连成两条直线,根据液限(a 点含水率)在 h_p - w_L 图上查得 h_p [这是《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)规定的方法,其他规范则直接取 $h_p=2 \text{ mm}$],以此 h_p 再在 h - w 关系图的 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)。在该直线上查得入土深度 17 mm(76 g 锥)或 20 mm(100 g 锥)对应的含水率为液限;按在 h_p-w_L 关系图上查得的 h_p 或 $h_p=2$ mm 的入土深度对应的含水率为塑限。

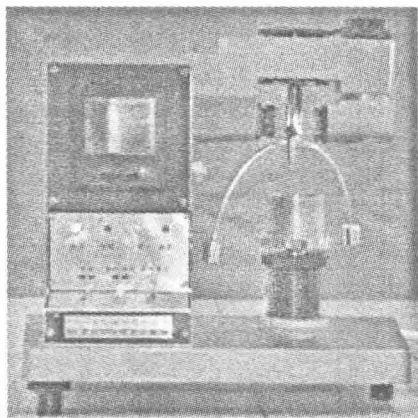
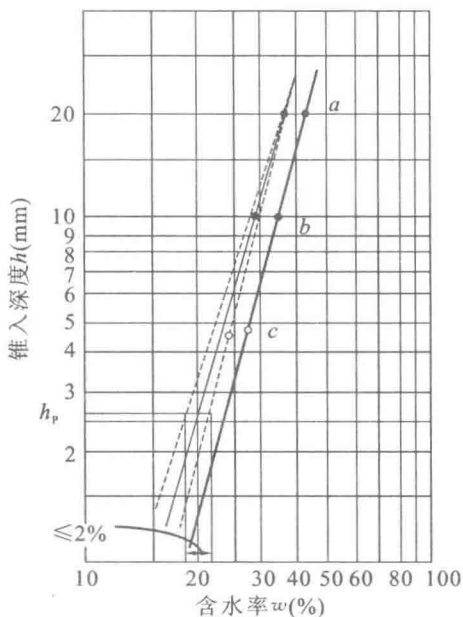


图 1-6 光电式液塑限联合测定仪

图 1-7 锥入深度与含水率($h-w$)关系图

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:高液限土不大于 2%,低液限土不大于 1%。

④ 联合测定法中的几个问题^[2]

a. 试样制备及测点的分布:进行液、塑限联合测定可采用三皿法或一皿法,即制备三份不同含水率的试样进行测定称为三皿法;先制备一份含水率的试样,然后增加水分或减少水量进行逐点测定称为一皿法。在实际试验中发现,若三份试样取得不均匀会影响试验结果。而一皿法可克服这个缺点,含水率可从小做到大。若采用天然含水率的试样也可从大做到小,但试样一定要调匀。关于测点的分布,一般设三个测点,相邻的含水率差别大些,测得的三点入土深度间距也大些,在图上分布比较均匀,一般入土深度在 2~17 mm(76 g 锥)或 2~20 mm(100 g 锥)之间。最低一点若取 2~3 mm 则制样比较困难,即土样不易调匀。根据实践经验可取 4~5 mm,第二点在 9~11 mm,最高点在 15~18 mm(76 g 锥)。

b. 锥体下沉深度的标准读数时间,对高液限的黏质土和粉质土,锥体下沉后

能在较短时间内稳定,这类土在 5 s、15 s、30 s 时的读数保持不变。而对低液限的粉质土,由于试样在锥体作用下发生排水,使锥体继续下沉,有时长达数分钟后才能稳定,若待锥体持续下沉很长时间后再读数,此时含水率和强度均有变化,求得的结果不能反映试样的真实情况。因此,原则上当锥体很快下沉转变为缓慢蠕动下沉时就读数,但这很难做到。为了尽可能避免蠕动的影晌,国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)和交通部的《公路土工试验规程》(JTJ E40—2007)中都规定以 5 s 作为锥体下沉的读数时间。

(2) 碟式仪法液限试验^[2,4]

国内采用碟式仪测定液限的单位极少。美国、日本以及欧洲等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,根据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 形槽刀,如图 1-8 所示。

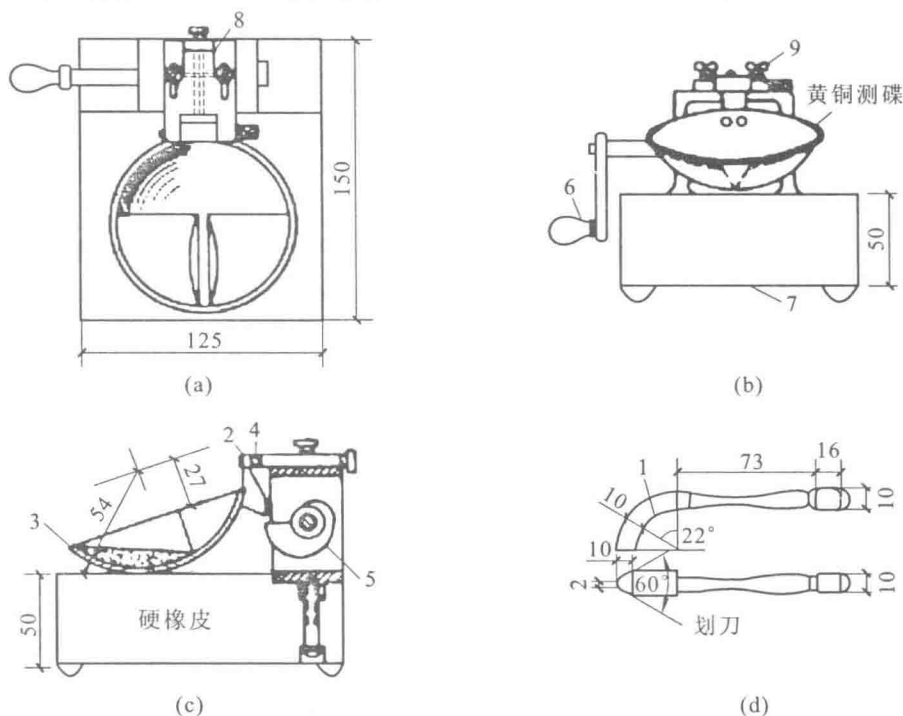


图 1-8 碟式液限仪(单位:mm)

1—划刀;2—销子;3—土碟;4—支架;5—蜗轮;6—摇柄;7—底座;8—调整板;9—螺丝

对碟式仪的仪器设备要求是:碟子必须自由下落而不能左右摇晃,其上升高度与基底的间距准确至 10 mm,这可用间隙块检查。当碟子上升到最大高度时,块规刚好通过(块规常用划槽刀的把子),若不符合要求,可用调节螺丝调节。划槽刀尖端宽度为 2 mm,如磨损应更换。

碟式仪法测定液限应制备数个不同含水率的试样,试样制备与联合测定法相同。装填试样时必须将碟子放在基座上,不能由凸轮支着。

① 将制备好的试样从碟子中间填进向两旁挤,以免夹有气泡,试样表面平整并与基座平行,试样中心厚度为 10 mm。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,形成 V 形槽(图 1-9)。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 1-9 划槽及合拢状态
(a)试前划成两半;(b)试后合拢情况

② 以 2 rad/s 的转速转动摇柄,使铜碟反复起落,坠击于基座上,数记击数,直至槽底两边试样的合拢长度为 13 mm 时为止,记录击数,并在槽的两边取试样测定含水率。

③ 将制备的不同含水率的试样重复上述步骤,测定 4~5 个试样的含水率,槽底试样合拢至 13 mm,所需要的击数控制在 15~35 击之间(25 击以上及以下各应有 1 次)。

④ 在半对数坐标纸上绘制含水率与击数关系曲线(图 1-10),在曲线上取 25 击所对应的含水率即为液限。

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:高液限土不大于 2%,低液限土不大于 1%。

在进行试验过程中,槽沟闭合受人为影响较大,目前各国闭合长度规定不一致,多数采用 13 mm。但必须指出,即使合拢长度规定相同,判断起来也较困难。另外,碟式仪液限操作较难掌握,且费时间,成果也容易分散,故目前国内较少采用。此外,碟式仪仍然有两种划刀,一种是 ASTM 划刀(简称 A 刀),另一种是卡氏划刀(简称 C 刀)。试验结果表明,用 A 刀测得的液限值比用 C 刀测得的液限值约低 10%。另外,碟式仪底座的硬度也影响试验结果。卡式试验得到液限时不

排水抗剪强度为 2~3 kPa,为此《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)建议用美国 ASTM D423 所采用的碟式仪规格,以便于国际技术交流。

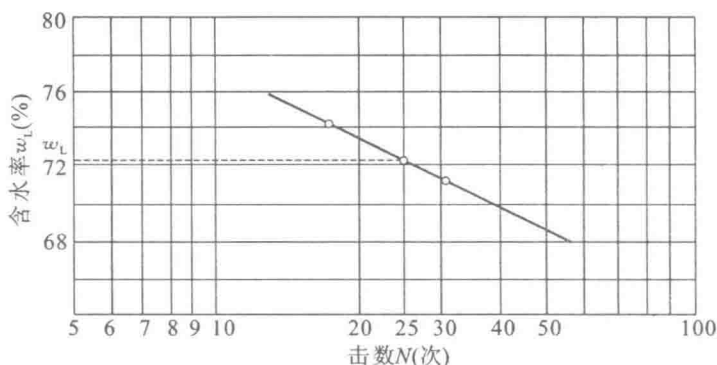


图 1-10 含水率与击数关系曲线

(3) 滚搓法塑限试验^[4]

① 试验步骤

a. 采用与液、塑限联合测定法相同的要求制备土样,一般取土样约 50 g 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,当含水率较大时也可以用电风吹干。

b. 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滚搓。滚搓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任一边脱出。土条在任何情况下不允许产生中空现象。为达到这一要求,应将手掌充分展开,以其平整部分均匀用力压住土条,并来回滚搓。

c. 继续滚搓土条,直至土条直径达 3 mm 时产生裂缝并开始断裂为止。若土条搓成直径为 3 mm 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后再滚搓;如土条直径大于 3 mm 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 3 mm 即开始断裂,则认为该土无塑性。

d. 收集 3~5 g 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,即为塑限。

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:高液限土不大于 2%,低液限土不大于 1%。

② 应注意的几个问题

a. 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、