

公路工程试验检测人员 考试用书

材料

(2014年版)

交通运输部工程质量监督局
交通运输部职业资格中心

组织编写

李福普 李闯民 主编



人民交通出版社
China Communications Press

Gonglu Gongcheng Shiyān Jiāncè Rényuán Kǎoshì Yòngshū
公路工程试验检测人员考试用书

Cailiao
材 料
(2014 年版)

交通运输部工程质量监督局
交通运输部职业资格中心
李福普 李闯民

组织编写
主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为交通运输部工程质量监督局和交通运输部职业资格中心组织编写并审定的《公路工程试验检测人员考试用书》之一,主要介绍公路工程相关材料的基本性质、检测方法等,涉及土工试验、集料、水泥及水泥混凝土、沥青与沥青混合料、基层与底基层材料、钢材、石料、土工合成材料等。

本书主要作为公路工程试验检测人员考试用书,也可供公路施工、监理等技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程试验检测人员考试用书:2014年版.材料/
交通运输部工程质量监督局,交通运输部职业资格中心
组织编写.——北京:人民交通出版社,2014.3

ISBN 978-7-114-11307-9

I. ①公… II. ①交… ②交… III. ①道路工程—试
验—资格考试—自学参考资料②道路工程—检测—资格考
试—自学参考资料③道路工程—工程材料—材料试验—资
格考试—自学参考资料④道路工程—工程材料—检测—资
格考试—自学参考资料 IV. ①U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 056924 号

书 名:公路工程试验检测人员考试用书 材料(2014 年版)

著 作 者:交通运输部工程质量监督局
交通运输部职业资格中心

责任编辑:孙 玺 刘永超

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:24

字 数:580 千

版 次:2014 年 3 月 第 1 版

印 次:2014 年 4 月 第 2 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11307-9

定 价:58.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

交通运输部工程质量监督局和交通运输部职业资格中心于2014年3月编制出版了《公路水运工程试验检测人员资格考试大纲(2014年版)》。大纲对各专业考试科目的划分和要求掌握的内容范围作出了明确规定和说明,为指导参加资格考试人员结合大纲学习与掌握相关知识,交通运输部工程质量监督局和交通运输部职业资格中心组织有关专家编写了《公路工程试验检测人员考试用书》,该系列考试用书同时也可作为各单位从事试验检测管理与操作的人员及大专院校师生在实际工作和教学中的参考用书。

《公路工程试验检测人员考试用书 材料》自2010年出版以来,为培训公路工程专业试验检测技术人员发挥了积极的作用,使一大批从事试验检测的技术人员在理论知识和试验技能上获得了进一步的提高,为公路工程建设项目的顺利实施提供了有力的保证。本次修订的原则是对原有内容的补充和完善。修订的重点,一是与新颁布的相关标准规范相衔接,二是补充大纲中新增试验等内容。本考试用书即是在《公路工程试验检测人员考试用书 材料》(第二版)的基础上,密切结合2014年修订的考试大纲内容要求编写而成。

本书共计八章,内容包括路基路面材料检测技术的基本理论知识,涉及土工试验、集料、水泥和水泥混凝土、沥青和沥青混合料、基层与底基层材料、钢材、石料、土工合成材料。其中,第一章、第三章、第五章和第六章由交通运输部公路科学研究院李闯民编写;第二章、第四章、第七章和第八章由交通运输部公路科学研究院李福普编写。在编写过程中,长沙理工大学刘安、冯源、李元元、周文胜收集了大量参考资料,并对书稿进行了校对。

本考试用书编写过程中参考了现行有关标准、规范、教材等资料,在此谨向有关编著者表示衷心的感谢。限于编者的学识水平和实践经验,以及相关技术规范处于变化过渡期的原因,书中难免有缺陷或疏漏之处,恳请专家和使用考试用书的学员提出宝贵意见,以便以后进一步完善。

编 者
2014年3月

目 录

第一章 土工试验	1
第一节 土的三相组成及物理性质指标换算	1
第二节 土的粒组划分和工程分类	16
第三节 砂的相对密度	29
第四节 黏性土的界限含水率和天然稠度试验	31
第五节 土的击实	36
第六节 土的压缩性指标及强度指标	40
第七节 土的化学性质试验和水理性试验	51
第八节 土样和试样制备	57
第二章 集料	62
第一节 粗集料	62
第二节 细集料的技术性质	85
第三节 矿料级配	104
第三章 水泥和水泥混凝土	110
第一节 水泥	110
第二节 水泥混凝土	128
第三节 普通混凝土配合比	154
第四节 路面水泥混凝土配合比	169
第五节 砂浆	173
第六节 混凝土外加剂	180
第四章 沥青和沥青混合料	184
第一节 沥青材料及检测方法	184
第二节 沥青混合料及检测方法	228
第五章 基层、底基层材料	280
第一节 半刚性类基层、底基层组成材料技术要求	280
第二节 半刚性类基层、底基层组成设计方法	284
第三节 基层、底基层材料试验检测方法	289
第六章 钢材	323
第一节 建筑钢材的种类以及用途	323
第二节 普通钢筋的主要力学性能指标	326

第三节 钢材的冷加工强化与时效强化、焊接与热处理	331
第四节 普通钢筋和焊接接头的力学性能测试方法	332
第七章 石料	341
第八章 土工合成材料	349
参考文献	372

第一章

土工试验

第一节 土的三相组成及物理性质指标换算

一、土的形成

土是由地表面的岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积,形成固体矿物、流体水和气体的一种集合体。不同的风化作用形成不同性质的土。风化作用有下列三种。

1. 物理风化

岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀,温度、湿度的变化,不均匀膨胀与收缩,使岩石产生裂隙,崩解为碎石。这种风化作用,只改变颗粒的大小和形状,不改变原来的矿物成分,称为物理风化。由物理风化生成的土为巨粒土,这种土呈松散状态,总称无黏性土。

2. 化学风化

当岩石的碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质相接触,使这些岩石碎屑逐渐发生化学变化,改变了原来组成矿物的成分,产生一种新的成分——次生矿物,这类风化称为化学风化。经化学风化生成的土为细粒土,具有黏结力,如黏土与粉质黏土,总称黏性土。

3. 生物风化

由动物、植物和人类活动对岩石的破坏称生物风化。

二、土的三相组成

从工程概念上讲,土是由土颗粒(固相)、水(液相)及气体(气相)三种物质组成的集合体。固相:土的固相物质分为无机矿物颗粒和有机质,构成了土的骨架。液相:是指土孔隙中存在的水。气相:是指土孔隙中充填的空气。土的三相比例是变化的。土体三相比例不同,土的状态和工程性质也随之各异,例如:

固体+气体(液体=0),为干土。此时,黏土呈坚硬状态,砂类土呈松散状态。

固体+液体+气体,为湿土。此时黏土多为可塑状态。

固体+液体(气体=0),为饱和土。此时粉土遇强烈地震,可能产生液化。

三、土中的水

从工程意义上来说,土的液相即土中水,可分为结晶水、结合水和自由水。结晶水是存在于土颗粒矿物晶体内部或参与矿物构造的水。这部分水只有在高温(150~240℃,甚至400℃)下才能从土颗粒矿物中析出。因此,可以把它看作矿物本身的一部分。结合水是吸着

在土颗粒表面呈薄膜状的水,受土粒表面引力的作用而不服从静水力学规律,其冰点低于 0°C 。它对细粒土的工程性质有很大影响。结合水可分为强结合水和弱结合水。强结合水靠近土颗粒表面,密度为 $2\text{g}/\text{cm}^3$,具有固体性质,能够抵抗剪切作用。弱结合水远离土颗粒表面,它是强结合水与自由水的过渡型水,因此它的密度为 $1\sim 2\text{g}/\text{cm}^3$ 。土颗粒表面结合水总量及其变化,取决于矿物的亲水性、土粒的分散程度和土粒的带电离子等。自由水是存在于土颗粒孔隙中的水。它可分为毛细水和重力水。毛细水是由于土中存在着大小不同的孔隙,当土粒间的孔隙形成细小的不同通道时,由于水的表面张力作用,在土中引起了毛细现象,微管道中的水被称为毛细水。重力水是重力作用下在土中移动的自由水。影响土的物理、力学性质的主要是弱结合水和自由水。因此,测定土的含水率时主要是测定这两部分水的含量,而不是包括结晶水和强结合水。试验研究表明,弱结合水和自由水在 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下就可以从土体中析出,强结合水则要在 $105\sim 150^{\circ}\text{C}$ 下才可以从土体中析出。

四、土的物理性质指标及指标换算

土的物理性质指标反映土的工程性质的特征,具有重要的实用价值。土的指标中,土的比重(相对密度)、密度、含水率是由试验室直接测量其数值,是实测指标,是土的三相基本物理指标。其他指标是换算指标。为了便于说明和记忆,把土中交错分布的土颗粒、水和气分别集中起来,按照体积划分为固相、液相、气相三部分,如图 1-1 所示,称为三相图。可根据三相图计算出各相之间的比例关系所表达的土的物理性质指标。

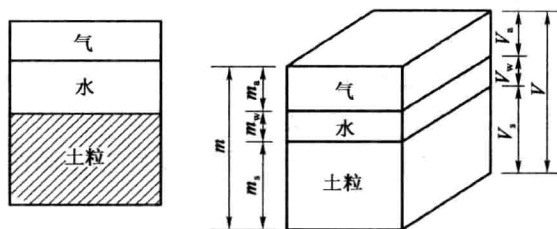


图 1-1 土的三相图

1. 常用物理性质指标和定义

工程设计和工程检验中常用的土的物理性质指标有:土的密度(湿密度)、土颗粒比重(相对密度)、饱和密度、干密度、浮密度、含水率、孔隙比、孔隙率、饱和度 9 个。

(1)土的湿密度 ρ :是指土体单位体积的质量。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (1-1)$$

(2)土颗粒比重(或土粒相对密度) G_s :是指土粒在温度 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量时的质量与同体积的水在 4°C 时质量的比值。

$$G_s = \frac{\frac{m_s}{V_s}}{\frac{m_w}{V_{w4c}}} \quad (1-2)$$

(3)土的含水率 w :是指土中水的质量和固体颗粒质量之比,通常以百分数表示。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (1-3)$$

(4) 干密度 ρ_d : 是指土的固体颗粒质量与土的总体积之比。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-4)$$

(5) 饱和密度 ρ_{sat} : 是指土的孔隙全部被水充满时的密度。

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \times \rho_w}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-5)$$

(6) 浮密度(或称浸水密度) ρ' : 是指土浸入水中受到水的浮力作用时的单位体积的质量。

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \times \rho_w}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-6)$$

(7) 孔隙比 e : 是土中孔隙的体积与固体颗粒体积之比。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-7)$$

(8) 孔隙率 n : 是指土中孔隙体积与总体积之比。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (1-8)$$

(9) 饱和度 S_r : 是指孔隙中水的体积与空隙体积之比。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (1-9)$$

2. 土的物理指标换算关系(表 1-1)

三相指标的换算关系

表 1-1

指 标	符 号	物理表达式	换算关系式
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{G_s(1+w)}{\rho} - 1$
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V}$	$n = 1 - \frac{\rho}{G_s(1+w)}$
干密度	ρ_d	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$
饱和密度	ρ_{sat}	$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \times \rho_w}{V}$	$\rho_{\text{sat}} = \frac{\rho(G_s - \rho_w)}{G_s(1+w)} + \rho_w$
浮密度	ρ'	$\rho' = \frac{m_s - V_s \times \rho_w}{V}$	$\rho' = \frac{\rho(G_s - \rho_w)}{G_s(1+w)}$
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v}$	$S_r = \frac{\rho G_s \cdot w}{\rho_w [G_s(1+w) - \rho]}$

3. 土的其他指标

(1) 常用的土的物理状态指标有: 液限含水率 w_L 、塑限含水率 w_P 、塑性指数 I_P 、液性指数 I_L 、相对密度 D_r 等(各符号意义见后述)。

(2) 常用的土的力学性质指标有: 压缩系数、压缩指数、固结系数、抗剪强度指标、承载比、回弹模量、无侧限抗压强度等。“压缩”描述非饱和土,“固结”描述饱和土。

(3)常用的土的水理性指标:渗透系数、湿化崩解量和毛细管水上升高度等。

五、土的含水率试验

土的含水率是土中水的质量与土颗粒质量的比值,以百分率表示。含水率是土的基本物理性质指标之一。它反映土的状态,它的变化将使土的一系列力学性能随之而异;它又是计算土的干密度、孔隙比、饱和度等指标的依据,是检测土工构筑物施工质量的重要指标。土中的水分为结晶水、结合水及自由水。一般认为在 105~110℃ 温度下能将土中部分结合水及自由水蒸发掉。测量土的含水率的试验方法有:烘干法、酒精燃烧法和比重法。烘干法是测定含水率的标准方法,适用于黏质土、粉质土、砂类土、砂砾土、有机质土和冻土类。酒精燃烧法适用于快速简易测定细粒土(含有机质的除外)的含水率。比重法是通过测定湿土体积,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,所得结果准确度较差。土内气体能否充分排出,直接影响试验结果的精度,故比重法仅适用于砂类土。下面介绍烘干法和酒精燃烧法。

(一)土的含水率试验(烘干法)

1. 适用范围

本法是测定含水率的通用标准方法。本试验方法适用于黏质土、粉质土、砂类土、砂砾土、有机质土和冻土类。

2. 仪器设备

(1)烘箱:可采用电热烘箱和温度能保持 105~110℃ 的其他能源烘箱,也可用红外线烘箱。

(2)天平:感量 0.01g。

(3)其他:干燥器、称量盒[为简化计算,将盒质量定期(3~6 个月)调整为恒量]等。

3. 试验步骤

(1)取具有代表性试样,细粒土 15~30g,砂类土、有机土为 50g,放入称量盒内,立即盖好盒盖,称质量。称量时,可在天平一端放上与该称量盒等质量的砝码,移动天平游码,平衡后称量结果即为湿土质量。

(2)揭开盒盖,将试样和盒放入烘箱内,在温度 105~110℃ 下烘干。烘干时间对细粒土不得少于 8h,对砂类土不得少于 6h,对含有机质超过 5% 的土或含石膏的土,应将温度控制在 60~70℃ 下烘干,以 12~15h 为好。

(3)将烘干后的试样和盒取出,放入干燥器内冷却(一般只需 0.5~1h 即可)。冷却后盖好盒盖,称质量,准确至 0.01g。

4. 结果整理

按下式计算含水率:

$$w = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1-10)$$

式中: w ——含水率(%);

m ——湿土质量(g);

m_s ——干土质量(g)。

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,允许平行差值应符合表 1-2 的规定。

含水率测定的允许平行差值

表 1-2

含水率(%)	允许平行差值(%)	含水率(%)	允许平行差值(%)
5 以下	0.3	40 以上	≤ 2
40 以下	≤ 1	对层状和网状构造的冻土	< 3

6. 试验说明与注意事项

(1)含水率试验以烘干法为室内试验的标准方法,精度高,应用广。

(2)试样烘至恒量所需的时间与土类及取土数量有关。规定细粒土为 15~30g,细粒土宜烘 8~10h,砂类土因持水性差,颗粒大小相差悬殊,水分变化大,所以试样应多取一些,取 50g,对砂类土宜烘 6~8h。对有机质含量超过 5% 的土,因土质不均匀,采用烘干法时,除注明有机质含量外,也应取 50g。

(3)一般认为土在 105~110℃ 温度下能将土中部分结合水和自由水蒸发掉。对于石膏土来说,若将土的烘干温度定在 110℃ 左右时,对含石膏的土会失去结晶水,用此方法测定其含水率会有影响。如果土中有石膏,则试样应该在不超过 80℃ 的温度下烘干,并要烘 12~15h。

(4)有机质土在 105~110℃ 温度下经长时间烘干后,有机质特别是腐殖酸会在烘干过程中逐渐分解而不断损失,使测得的含水率比实际的含水率大,土中有机质含量越高,误差越大。故对有机质含量超过 5% 的土,规定在 60~70℃ 温度下进行烘干,以烘 12~15h 为好。

(5)烘干期间烘箱不应频繁开启,以免影响箱内温度。水分较多的土,不应与接近烘干的土在一个箱内混烘。因烘箱底层温度较高,故试样应距底层有一定距离。将称量盒校正至恒量后,简化了试验过程中反复测量称量盒质量的手续。但使用一定时间后,称量盒的质量常有变化,因此一般半年需要校正一次,以保证试验精度。

7. 烘箱安全操作

(1)烘箱应放在室内干燥的水平处使用,箱体外壳必须有效接地。

(2)在供电线路中,用户应安装与烘箱电流相应的通断开关供烘箱专用。

(3)每台烘箱工作室宜附有两块风络式搁板供放置试物,并可按试物大小调节器调整搁板间距;放置试物不宜过密,以利热空气流通;工作室的地板上面不得放置试物,避免因过热烧坏试物。

(4)通电前应检查电源线路绝缘是否良好,不得有漏电。加热器电阻丝之间不得有碰触,以防短路。

(5)使用非防爆电烘箱,切勿烘烤易燃、易爆、易挥发性的物品,以防爆炸。

(6)随时观察并调整箱内温度,应符合烘件工艺要求的温度。操作人员严禁离开加工区。欲观察工作室试品情况,可开启外门,或从玻璃门向内窥视,但外门不常开为宜,以免热量外泄;且当温度升到 300℃ 左右时,开启箱门可能会使玻璃急骤冷却而破裂。

(7)保持烘箱内清洁,检查和清除烘箱内电阻丝旁的氧化皮。

(8)工作后切断电源,关闭烘箱门。

(二)土的含水率试验(酒精燃烧法)

在土样中加入酒精,利用酒精能在土上燃烧,使土中水分蒸发,将土样烘干。酒精燃烧法的温度不符合 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 的标准要求,但酒精倒入试样燃烧开始时即气化,酒精的气体部分构成火焰的焰心,火焰与土样一般保持 $2\sim 3\text{cm}$ 的距离,实际上土样的温度仅为 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$,待火焰熄灭的几秒钟才与土面接触,致使土的温度上升到 $200\sim 220^{\circ}\text{C}$ 。由于高温的时间短,土样的温度基本适宜。

1. 目的和适用范围

本试验方法适用于快速简易测定细粒土(含有机质的土除外)的含水率。

2. 仪器设备

(1)称量盒(定期调整为恒质量)。

(2)天平:感量 0.01g 。

(3)酒精:纯度 95% 以上。

(4)滴管、火柴、调土刀等。

3. 试验步骤

(1)取代表性试样(黏质土 $5\sim 10\text{g}$,砂类土 $20\sim 30\text{g}$),放入称量盒内,称湿土质量。

(2)用滴管将酒精注入放有试样的称量盒中,直至盒中出现自由液面为止。为使酒精在试样中充分混合均匀,可将盒底在桌面上轻轻敲击。

(3)点燃盒中酒精,燃至火焰熄灭。

(4)将试样冷却数分钟,按前述的方法重新燃烧两次。

(5)待第三次火焰熄灭后,盖好盒盖,立即称干土的质量,准确至 0.01g 。

4. 结果整理

同烘干法。

5. 试验说明与注意事项

(1)本试验方法在现场测试中用的较多。取代表性试样时,砂类土数量应多于黏质土。酒精纯度要求达到 95% 。

(2)对于有机质土,其有机成分会燃烧,这样所测含水率偏大。测定结果将与含水率定义不符。

(3)一般酒精应烧三次,为使酒精在试样中充分混合均匀,可将盒底在桌面上轻轻敲击。

(4)根据经验得知,用酒精燃烧法测量土的含水率的准确度与土类有关。用酒精法测量砂的含水率时,所得结果与烘干法的结果相符。用酒精燃烧法测量黏性土,特别是重亚黏土和黏土的含水率时,所得结果与烘干法的结果相差很大。酒精燃烧法测得的含水率常小于烘干法的结果。其主要原因是,酒精难于将黏性土烧干。此外,潮湿的黏性土难于粉碎,也使酒精法的准确度降低。对于有机质含量高的土,不能采用酒精燃烧法测含水率。

六、土的密度试验

密度是土的基本物理性指标之一,用它可以换算土的干密度、孔隙比、孔隙率、饱和度等指标,无论在室内试验、野外勘察以及施工质量控制中,均须测定密度。土的天然密度定义为 $\rho=m/V$ 。在密度测试中,土的天然质量 m 较易得到,难的是土的体积 V 。土的体积 V 的检测操

作受人为因素和土的粒度成分影响很大。

测定密度常用的方法有环刀法、电动取土器法、蜡封法、灌砂法、灌水法等。环刀法只能用于测定不含砾石颗粒的细粒土的密度。电动取土器法最适宜于石灰土基层的取样,对于硬塑土,也是非常方便、适用的。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、形态不规则的土,可用蜡封法测定密度。灌水法、灌砂法一般在野外应用。规定所有土的密度试验平行误差不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(一)土的密度试验(环刀法)

1. 适用范围

本试验方法适用于不含砾石颗粒的细粒土。

2. 仪器设备

环刀:直径为 $6\sim 8\text{cm}$,高 $2\sim 5.4\text{cm}$,壁厚 $1.5\sim 2.2\text{mm}$ 。

天平:感量 0.1g 。

其他:修土刀、钢丝锯、凡士林等。

3. 试验步骤

(1)按工程需要取原状土或制备所需状态的扰动土样,整平两端,环刀内壁涂一薄层凡士林,刀口向下放在土样上。

(2)用修土刀或钢丝锯将土样上部削成略大于环刀直径的土柱,然后将环刀垂直下压,边压边削,至土样伸出环刀上部为止。削去两端余土,使土样与环刀口齐平,并用剩余土样测含水率。

(3)擦净环刀外壁,称环刀与土的合质量 m_1 ,准确到 0.1g 。

4. 结果整理

(1)按下式分别计算试样的湿密度 ρ_w 及干密度 ρ_d :

$$\rho_w = \frac{4 \times (m_1 - m_2)}{\pi d^2 h} \quad (1-11)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + 0.01w} \quad (1-12)$$

式中: ρ_w ——试样的湿密度(g/cm^3);

ρ_d ——试样的干密度(g/cm^3);

m_1 ——环刀或取芯套与试样的合计质量(g);

m_2 ——环刀或取芯套筒质量(g);

d ——环刀或取芯套筒直径(cm);

h ——环刀或取芯套筒高度(cm);

w ——试样的含水率($\%$)。

(2)精密度和允许差。

本试验须进行两次平行测定,取算术平均值,其平行差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

5. 试验说明与注意事项

(1)采用环刀取样的方法有四种:即土柱压入法、直接压入法、落锤打入法或手锤打入法。一般来讲,为了防止土样扰动,采用土柱压入法最好。但在现场将黏土切一个土柱费时费力,压下环刀时有可能左右摆动,故使用上并不理想。工地推荐黏性土用直接压入法。

若土质坚硬不能压入时,则可用落锤打入法或手锤打入法。湿砂土(不含砂粒)建议采用土柱压入法。

(2)在破坏性试验中,环刀法是我国最早使用的测定土的湿密度的一种方法。它也是较简单和较快捷的一种试验方法,但它的破坏性较灌砂法和水袋法大得多。此外,环刀法只能用于测定不含砾石或碎石的纯细粒土的现场湿密度,且不适用于松散性材料。

(3)在室内作密度试验,考虑到与剪切、固结等项试验所用环刀相配合,规定室内环刀容积 $60 \sim 150 \text{cm}^3$ 。施工现场检查填土压实密度时,由于每层土压实度上下均匀,为提高试验结果的精度,可增大环刀容积,一般采用的环刀容积为 $200 \sim 500 \text{cm}^3$ 。

(4)环刀高度与直径之比,对试验结果有影响,根据钻探机具、取土器的筒高和直径的大小,确定室内试验使用的环刀直径为 $6 \sim 8 \text{cm}$,高 $2 \sim 3 \text{cm}$;野外采用的环刀规格尚不统一,径高比一般以 $1 \sim 1.5$ 为宜。

(5)环刀壁越厚,压入时土样扰动程度也越大,所以环刀壁越薄越好。但环刀压入土中时,须承受相当的压力,壁过薄,环刀容易破损和变形,因此,建议一般壁厚用 $1.5 \sim 2 \text{mm}$ 。

(6)通常试验的深度等于碾压层的厚度,用环刀法测得的密度是环刀内土样所在深度范围内的平均密度。国内习惯用的环刀所取的土是表面下 $5 \sim 10 \text{cm}$ 范围内的土,则所得密度仅是 $5 \sim 10 \text{cm}$ 范围内土的平均密度,它不能代表整个碾压层的平均密度。由于碾压后,土层的密实度是从上到下减小的,而且顶部与底部的密实度相差很大。因此,用环刀法测定土的密度时,若环刀是从顶面往下取土的,则所得密度(或据此计算的压实度)将偏大;若环刀取的是底部的土,则所得的密度或计算的压实度将明显偏小。

(二)土的密度试验(蜡封法)

1. 目的和适用范围

本试验方法适用于测定易破裂的土和形态不规则的坚硬土的密度。不能用环刀切削的坚硬易碎、含有粗粒、形状不规则的土,可用蜡封法测定密度。

2. 试验步骤

(1)用削土刀切取体积大于 30cm^3 试件,削除试件表面的松、浮土以及尖锐棱角,在天平上称质量 m ,准确至 0.01g 。取代表性土样进行含水率测定。

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

(3)待冷却后,将蜡封试件在天平上称质量 m_1 ,准确至 0.01g 。

(4)用细线将蜡封试件置于天平一端,使其浸浮在盛有蒸馏水的烧杯中,注意试件不要接触烧杯壁,称蜡封试件的水下质量 m_2 ,准确至 0.01g ,并测量蒸馏水的温度。

(5)将蜡封试件从水中取出,擦干石蜡表面水分,在空气中称其质量,将其与(3)中所称质量相比,若质量增加,表示水分进入试件中;若浸入水分质量超过 0.03g ,试验应重做。

3. 结果整理

按下式计算湿密度和干密度:

$$\rho = \frac{m}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{wt}}} - \frac{m_1 - m}{\rho_n}} \quad (1-13)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + 0.01w} \quad (1-14)$$

式中: ρ ——土的湿密度(g/cm^3);

ρ_d ——试样的干密度(g/cm^3);

m ——试件质量(g);

m_1 ——蜡封试件质量(g);

m_2 ——蜡封试件水中质量(g);

ρ_{wt} ——蒸馏水在 $t^\circ\text{C}$ 时密度(g/cm^3), 准确到 $0.001\text{g}/\text{cm}^3$;

ρ_n ——蜡的密度(g/cm^3), 应事先实测, 准确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$, 一般可采用 $0.92\text{g}/\text{cm}^3$;

其余符号意义同环刀法。

4. 试验说明和注意事项

(1) 当天然土、压实土或路面材料能被成块地挖取时, 可以用蜡封法测定其密度。块体应大一些, 以提高测定的准确性和精度。一般块体体积应大于 30cm^3 , 并要能代表整个碾压层。

(2) 蜡封试样在水中的质量, 系指试样在水中的重力与浮力之差, 蜡封试样的质量和蜡封试样在纯水中的质量之差, 与纯水在 $t^\circ\text{C}$ 时的密度的比值, 即为蜡封试样的体积, 当再减去试样上蜡的体积之后, 即得风干土样的体积。

(3) 密度试验中使用的石蜡, 选用 55 号石蜡为宜, 其密度以实测为准。如无条件实测, 可采用其密度的近似值 $0.92\text{g}/\text{cm}^3$ 进行计算。测定石蜡的密度, 应根据“阿基米德原理”, 采用静水力学天平称量法或采用 $500\sim 1\,000\text{mL}$ 广口瓶比重法进行。

(4) 封蜡时, 为避免易碎裂土的扰动和蜡封试样的内气泡的产生, 本试验采用一次徐徐浸蜡方法。

(三) 土的密度试验(灌砂法)

1. 目的和使用范围

本试验方法适用于现场测定细粒土、砂类土和砾类土的密度。试样的最大粒径一般不得超过 15mm , 测定密度层的厚度为 $150\sim 200\text{mm}$ 。灌砂法是利用均匀颗粒的砂, 由一定高度下落到一规定容积的筒或洞内, 按其单位重不变的原理来测量试洞的容积。

2. 试验准备

进行试验前, 首先要标定筒下部圆锥体内的砂的质量以及量砂的单位质量。量砂为粒径 $0.25\sim 0.5\text{mm}$ 清洁干燥的均匀砂。

(1) 标定筒下部圆锥体内的砂的质量的步骤如下:

① 在灌砂筒筒口高度上, 向灌砂筒内装砂至距筒顶 15mm 左右为止。称取装入筒内砂的质量 m_1 , 准确至 1g 。以后每次标定及试验都应该维持装砂高度和质量不变。

② 将开关打开, 让砂自由流出, 并使流出砂的体积与工地所挖试坑内的体积相当(可等于标定罐的容积), 然后关上开关, 称灌砂筒内剩余砂质量 m_5 , 准确至 1g 。

③ 不晃动储砂筒的砂, 轻轻地将灌砂筒移至玻璃板上, 将开关打开, 让砂流出, 直到筒内砂不再下流时, 将开关关上, 并细心地取走灌砂筒。

④ 收集并称量留在板上的砂或称量筒中的砂, 准确至 1g 。玻璃板上的砂就是填满锥体的砂, 其质量为 m_2 。

⑤重复上述过程测量三次,取平均值。

(2)标定量砂的单位质量的步骤如下:

①用水确定标定罐的容积 V ,准确至 1mL。

②在储砂筒中装入质量为 m_1 的砂,并将灌砂筒放在标定罐上,将开关打开,让砂流出,在整个过程中,不要碰动灌砂筒,直到砂不再下流时,将开关关闭。取下灌砂筒,称取筒内剩余砂的质量 m_3 ,准确至 1g。

③按下式计算填满标定罐所需砂的质量 m_a :

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3 \quad (1-15)$$

式中: m_a ——标定罐中砂的质量(g);

m_1 ——装入灌砂筒内的砂的总质量(g);

m_2 ——灌砂筒下部圆锥体内砂的质量(g);

m_3 ——灌砂入标定罐后,筒内剩余砂的质量(g)。

④重复上述测量三次,取其平均值。

⑤按式(1-16)计算砂的单位体积的质量。

$$\gamma_s = \frac{m_a}{V} \quad (1-16)$$

式中: γ_s ——砂的单位体积的质量(g/cm³);

V ——标定罐的体积(cm³)。

3. 试验方法要点

测试步骤:

(1)准备试验仪器。

(2)标定筒下部圆锥体内砂的质量。

(3)标定量砂的单位质量。

(4)选一块平坦表面,并清扫干净,其面积不得小于基板的面积。

(5)将基板放在平坦的表面上,当表面的粗糙度较大时,要考虑粗糙表面砂的质量。

(6)沿基板孔凿洞,并将洞内所有材料取出称重。

(7)灌砂,打开灌砂筒的开关,让砂流入试坑内,砂不流时,关闭开关,并称取灌砂筒内剩余砂的质量。

(8)计算试坑内砂的质量。

(9)测定试样的含水率。

(10)计算试坑内材料的湿密度、干密度。

4. 试验说明和注意事项

(1)灌砂法是当前国际上最通用的方法,在很多国家的土工试验法和稳定土材料试验法中,都将灌砂法列为在现场测定密度的主要方法,可用于测量各种土和路面材料的密度。

(2)标定罐的深度对砂的密度有影响。标定罐的深度减 2.5cm,砂的密度约降低 1%。因此,标定罐的深度应与试洞的深度一致。

(3)储砂筒中砂面的高度对砂的密度有影响。储砂筒中砂面的高度降低 5cm,砂的密度约降低 1%。因此,现场测量时,储砂筒中的砂面高度应与标定砂的密度时储砂筒中的砂面高度一致。

(4)砂的颗粒组成对试验的重现性有影响。使用的砂应清洁干燥,否则,砂的密度会有明显变化。

(5)地表面处理要平整,表面粗糙时,一般宜放上基板,先测定粗糙表面消耗的量砂。

(6)在挖坑时试坑周壁应笔直,避免出现上大下小或上小下大的情形。仔细收集洞中挖出的全部土或材料,勿使丢失,并采取措施保护其含水率不受损失。及时称取(可以分批称)洞中挖出的全部土或材料的质量,并取部分有代表性的样品做含水率试验用。剩下的重要一步是量测试洞的容积,或确定所挖出的全部土或材料的体积。

(7)灌砂时检测厚度应为整个碾压厚度。

(四)土的密度试验(灌水法)

本试验方法适用于现场测定粗粒土和巨粒土特别是后者的密度,从而可为粗粒土和巨粒土最大密度试验(振动台法和表面振动器法)提供施工现场检验密实度的手段。测试试样的最大粒径为 200mm。一般情况下,可以满足现场检验巨粒土密实度的要求。灌水法密度试验分开测定细料与石料的含水率,这样更符合实际,故本试验采用了这种方法。日本对细粒料与石块的划分以 75mm 为界,本试验将分界粒径改为 60mm,因日本以 75mm 作为砾粒的上限,而我国以 60mm 作为粗粒土和巨粒土的分界粒径。土的密度试验结果平行差值不得大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。

七、土的比重试验

土的比重是土的三大基本物理性指标(比重、密度、含水率)之一,是计算孔隙比和评价土类的主要指标。它是一无量纲量。关于比重的定义,以往国内《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)和常见教科书上一般将比重定义为:土粒在温度 $100\sim 105^\circ\text{C}$,烘至恒重时的质量与同体积 4°C 时蒸馏水重量的比值;近年来,国外某些书刊中给出这样的定义:给定体积材料的质量(或密度)与等体积水的质量(或密度)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,即物理的质量与其体积的比值,《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。鉴于以上情况,并考虑到我国法定计量单位中有关“比重”概念给土工试验一些基本公式和计算造成不便的现实,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 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 下烘至恒量时的质量与同体积的水在 4°C 时质量的比值,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:

$$G_s = \frac{\frac{m_s}{V_s}}{\frac{m_w}{V_{w4c}}} \quad (1-17)$$

式中: G_s ——土粒的比重;

m_s ——土粒的质量(g);

V_s ——土粒的体积(cm^3)

m_w —— 4°C 时纯水的质量(g);