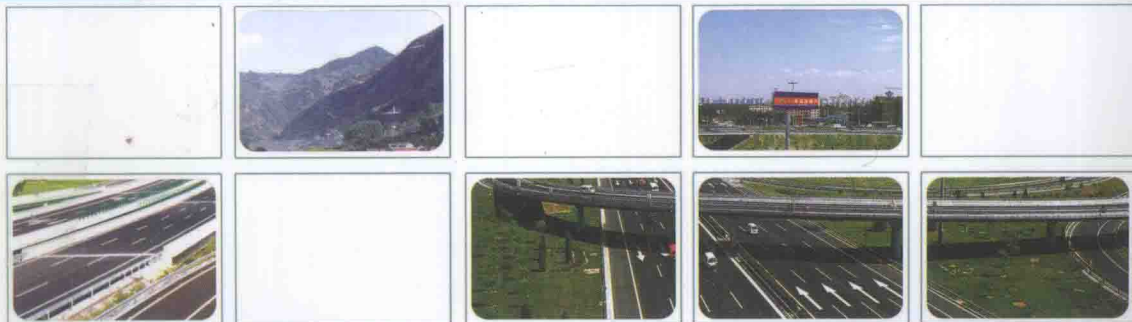




国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

路基工程试验检测技术

侯铁军 袁 捷 衡秀云 主 编
井 浩 吴玲珍 李令喜 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

Luji Gongcheng Shiyan Jiance Jishu
路基工程试验检测技术

侯铁军 袁 捷 衡秀云 主编
井 浩 吴玲珍 李令喜 主审



人民交通出版社

内 容 提 要

本书为国家骨干院校重点建设专业校企合作教材。全书包括:路用土、砂石材料、水泥及水泥混合物、路基土石方工程质量检测、排水及防护工程检测五个学习情境。

本书为高职高专院校公路工程试验检测技术专业教学用书,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书,或作为有关专业继续教育及职业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

路基工程试验检测技术 / 侯铁军,袁捷,衡秀云主编.

—北京:人民交通出版社,2014.8

国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

ISBN 978-7-114-11324-6

I. ①路… II. ①侯… ②袁… ③衡… III. ①路基工程—道路试验—检测 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 060383 号

国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

书 名:路基工程试验检测技术

著 作 者:侯铁军 袁 捷 衡秀云

责任编辑:尤晓玮

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:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:10.75

字 数:275 千

版 次:2014 年 8 月 第 1 版

印 次:2014 年 8 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11324-6

定 价:32.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

青海交通职业技术学院

公路工程检测技术专业校企合作教材编审委员会

主任委员 李文时

副主任委员 王海春 陈湘青 许 云 贾富贵

委 员 井 浩 衡秀云 侯铁军 虞卫国

企业委员 杨学山 陈世英

序

作为工程建设质量控制和评定的基础,试验检测在工程质量保证体系中起着重要作用。根据高等职业教育的人才培养目标定位和公路工程试验检测行业的特点,在对人才市场进行充分调研和论证的基础上,校企共同构建了以行业标准为基础,以公路桥梁检测为任务,以项目目标为导向,以学生为主体,有青藏高原特色的人才培养模式和课程体系。

本套教材基于公路工程检测技术专业“校企同频、分段递进、项目引领”的工学结合人才培养模式,在企业调研的基础上,吸收其他高职高专院校专业建设与课程体系开发的先进经验,结合现代教育技术,按照“专业与产业和职业岗位对接、专业课程内容与职业标准对接、教学过程与生产过程对接、学历证书与职业资格证书对接、职业教育与终身学习对接”的五对接原则,组织企业技术人员和学院教师共同编写,实现了学校教学和企业实践的有机结合。教材在编写过程中贯彻最新的技术标准和行业规范,突出高原特色,注重教学对象的认识能力和认知规律,采用图文结合的形式,力求直观明了,提高学生职业素养和职业能力,做到理论够用、重在实践。

本套教材的主要特点:

1. 从企业需求出发,重塑教学目标

本套教材是从企业的需要和学生的职业发展出发,让学生通过专业学习,能够切实找到自己的职业发展方向或能更好地适应未来企业的用人需要。

2. 从人才培养的目标出发,重整教学内容

根据公路工程检测技术专业人才的培养目标,与企业合作进行职业岗位分析,确定公路工程检测技术专业岗位和岗位群,根据行动体系重新构建学习领域,以工作过程为导向培养学生的能力。

青海交通职业技术学院
公路工程检测技术专业校企合作教材编审委员会
2012年12月

前 言

2010年11月30日,教育部、财政部确定青海交通职业技术学院为2011年启动建设的国家骨干高职院校建设单位,建设期为三年。这标志着该学院站在了新的历史起点,赢得了更高、更为广阔的发展平台。2011年12月,教育部、财政部启动支持高等职业学校提升专业服务产业发展能力专业建设项目,重点支持高等职业学校专业建设,提升高等职业教育服务经济社会能力。学院公路工程检测技术专业作为中央财政重点支持的建设专业,并成立了专业建设项目组。

专业建设项目组通过充分的调研和论证提出了公路工程检测技术专业新的人才培养模式,即基于职业导向的“校企同频、多段递进、项目引领”人才培养模式。根据岗位技能需求,精心设置课程,优化课程结构,突出实践能力,构建基于工作过程的课程体系,进行项目化训练,将专业技能、职业核心能力和职业道德培养,分解到各个任务和项目中,确保人才培养目标的实现。基于此,专业建设项目组组织本专业骨干教师及行业专家、企业技术骨干共同编写工学结合系列教材。

本课程是“公路工程检测技术”专业课程体系中的一门核心技术课。本书以公路工程现行技术规范、标准、试验规程为依据,主要介绍路基路面试验检测的基本理论和方法。内容包括试验检测工作细则;工程质量评定;路基用材料(主要有土、基层材料、砂石材料、水泥与水泥混凝土等)试验方法;路基工程质量现场试验检测方法;试验检测新技术以及试验数据处理等,具有一定的针对性和实用性。在设计过程中本着以“项目导向、任务驱动”的教学组织形式,注重通过工作任务来锻炼学生的实际操作能力,以提高学生的综合能力为目的,突出学生主体,培养学生良好专业能力。

编 者

2013年6月

目 录

项目一 路用土	1
任务1 土的三相组成	1
任务2 土的动力特性与击实试验	15
任务3 土的工程分类及野外鉴别	22
项目二 砂石材料	31
任务1 天然石料	31
任务2 集料的技术性质和技术要求	41
项目三 水泥及水泥混合物	60
任务1 水泥	60
任务2 水泥混凝土	83
任务3 建筑砂浆	117
项目四 路基土石方工程质量检测	126
任务1 土方路基质量检测	126
任务2 石方路基及软土地基处治质量检测	145
项目五 排水及防护工程检测	149
任务1 混凝土及砂浆强度质量检测及评定	149
任务2 排水及防护综合检测	154
参考文献	161

项目一 路 用 土



知识目标:

1. 掌握土的概念、土的三相组成。
2. 掌握土的粒度成分分析方法及表示方法。
3. 掌握土的物理性质指标、黏性土的稠度与稠度指标。
4. 掌握黏性土的击实性与击实规律。
5. 掌握土工合成材料的组成、性质及应用。



能力目标:

1. 能够进行土的界限含水率测定,并能对试验结果进行计算与结果分析。
2. 能进行土的三相组成及物理性质指标换算、土的粒组划分及工程分类。
3. 能判别各类路用土的适用性。

任务1 土的三相组成

一、相关知识

1. 土在道路建筑材料中的用途

土可作为道路建筑材料,如作为路基、路面的构筑物;可作为建筑物地基;土也可作为建筑物周围的介质或环境,如隧道、涵洞及地下建筑等。土和建筑是密不可分的。

2. 土的组成

土是由固体颗粒、液体水和气体三部分组成,这三部分称为土的三相组成。土中的固体矿物构成骨架,骨架之间贯穿着孔隙,孔隙中充填着水和空气,三相比比例不同,土的状态和工程性质也不相同,如图 1-1 所示。

固体 + 气体(液体 = 0)为干土,干黏土较硬,干砂松散。

固体 + 液体 + 气体为湿土,湿黏土多为可塑状态。

固体 + 液体(气体 = 0)为饱和土,饱和粉细砂受振动可能产生液化;饱和黏土地基沉降需很长时间才能稳定。

由此可见,研究土的工程性质,首先从最基本的组成土的三相,即固相(土颗粒)、液相(水)和气相(气体)本身开始研究。

1) 固相

土的固体颗粒是土的三相组成中的主体,其粒度分布、矿物成分决定着土的工程性质。研

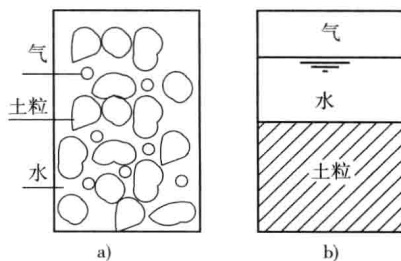


图 1-1 土的三相组成

a) 实际土体; b) 土三相图

究固体颗粒就要分析粒径的大小及其在土中所占的百分比,即土的粒径级配(粒度成分);此外,还要研究固体颗粒的矿物成分以及颗粒的形状。

(1) 粒径级配(粒度成分)

随着颗粒大小不同,土具有不相同的性质。颗粒的大小通常以粒径表示。工程上按粒径大小分组,称为粒组,即某一级粒径的变化范围。

划分粒组的两个原则是:

①首先考虑到在一定的粒径变化范围内,其工程地质性质是相似的,若超越了这个变化幅度就要引起质的变化。

②要考虑与目前粒度成分的测定技术相适应。

国家标准《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)和行业标准《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)中的粒组划分方案见表 1-1。

粒 组 划 分 表 1-1

粒组 统称	《土的工程分类标准》(GB/T50145—2007)		《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)	
	粒组名称	粒组范围(mm)	粒组名称	粒组范围(mm)
巨粒	漂石(块石) 卵石(碎石)	> 200 200 ~ 60	漂石(块石) 卵石(小块石)	> 200 200 ~ 60
粗粒	粗粒 砾粒 细粒 砂砾	60 ~ 20	粗砾	60 ~ 20
		20 ~ 2	中砾	20 ~ 5
		2 ~ 0.075	细砾	5 ~ 2
			粗砂	2 ~ 0.5
			中砂	0.5 ~ 0.25
			细砂	0.25 ~ 0.075
细粒	粉粒 黏粒	0.075 ~ 0.005 < 0.005	粉粒 黏粒	0.075 ~ 0.002 < 0.002

实际上,土是各种大小不同颗粒的混合物。较笼统地说,以砾石和砂砾为主组成的土为粗粒土,也称无黏性土。其特征为:孔隙大、透水性强,毛细上升高度很小,既无可塑性,也无胀缩性,压缩性极弱,强度较高。以粉粒、黏粒(或胶粒 $\phi < 0.002\text{mm}$) 为主的土称为细粒土,也称为黏性土。其特征为:主要由原生矿物、次生矿物组成,孔隙很小,透水性极弱,毛细上升高度较大,有可塑性、胀缩性,强度较低。

土粒形状对土体的密度及稳定性有显著影响。大部分粉砂粒及砂粒是浑圆的或棱角状的,而云母颗粒往往是片状的,黏土颗粒则往往是薄片状的。土粒的形状取决于矿物成分,它反映土料的来源和形成历史。

(2) 粒度成分及粒度成分分析方法

土的粒度成分是指土中各种不同粒组的相对含量(以干土质量的百分比表示)。或者说,土是由不同粒组以不同数量的配合,又称为“颗粒级配”。如某砂黏土,经分析,其中含黏粒 25%,粉粒 35%,砂粒 40%,即为该土中各粒组干重占该土总干重的百分比含量。粒度成分用来描述土的各种不同粒径土粒的分布特征。

为准确测定土的粒度成分,所采用的各种手段统称为粒度成分分析或颗粒分析。其目的在于确定土中各粒组颗粒的相对含量。目前,我国常用的粒度成分分析方法有:①对于粗粒

土,即粒径大于 0.075mm 的土,用筛分法直接测定;②对粒径小于 0.075mm 的土,用密度计法或移液管法。当土中粗细粒兼有时,可联合使用上述三种方法。具体的试验操作详见本书试验部分。

(3) 粒度成分的表示方法

常用的粒度成分的表示方法有表格法、累计曲线法、三角坐标法(略)。

①表格法。是以列表形式直接表达各粒组的相对含量。它用于粒度成分的分类是十分方便的。《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)中的成果表中均以该方法表示,即直接由试验求得,以累计含量百分比表示,见表 1-2。

粒度成分的累计百分含量表示法 表 1-2

粒径 d_i (mm)	粒径小于等于 d_i 的累计百分含量(%)			粒径 d_i (mm)	粒径小于等于 d_i 的累计百分含量(%)		
	土样 A	土样 B	土样 C		土样 A	土样 B	土样 C
10	—	100.0	—	0.10	9.0	23.6	92.0
5	100.0	75.0	—	0.075	—	19.0	77.6
2	98.9	55.0	—	0.01	—	10.9	40.0
1	92.9	42.7	—	0.005	—	6.7	28.9
0.5	76.5	34.7	—	0.001	—	1.5	10.0
0.25	35.0	28.5	100.0				

②累计曲线法。是一种图示的方法,通常用半对数坐标纸绘制,横坐标(按对数比例尺)表示粒径 d_i ;纵坐标表示小于某一粒径的土粒的累计百分数 P_i (注意:不是某一粒径的百分含量)。采用半对数坐标,可以把细粒的数量更好地表达清楚,若采用普通坐标,则不可能做到这一点。

累计曲线的用途主要有以下两个方面:

a. 由累计曲线可以直观地判断土中各粒组的分布情况。以表 1-2 的数据为例,画出粒度成分累计曲线如图 1-2 所示。曲线 a 表示该土绝大部分是由比较均匀的砂粒组成的;曲线 b 表示该土是由各种粒组的土粒组成,土粒极不均匀;曲线 c 表示该土中砂粒极少,主要是由细颗粒组成的黏性土。

b. 由累计曲线可确定土粒的级配指标。

不均匀系数 C_u :

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{1-1}$$

曲率系数(或称级配系数) C_c :

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \tag{1-2}$$

以上两式中: d_{10} 、 d_{30} 和 d_{60} 分别为相当于累计百分含量为 10%、30% 和 60% 的粒径; d_{10} 称为有效粒径; d_{60} 称为限制粒径。

以表 1-2 中的数据为例,绘制级配曲线,如图 1-2 所示。

不均匀系数 C_u ,反映不同大小粒组的分布情况。 C_u 值愈大,表明土粒大小分布范围大,土的级配良好; C_u 值愈小,表明土粒大小相近似,土的级配不良。一般认为,不均匀系数 $C_u < 5$ 时,称为均粒土,其级配不良; $C_u \geq 5$ 的土为非均粒土,其级配良好。实际上,单靠不均匀系数 C_u 值一个指标来判定土的级配情况是不够的,还必须同时考察曲率系数 C_c 值。曲率系数 C_c 描

述累计曲线的分布范围,反映累计曲线的整体形状。一般认为 $C_c = 1 \sim 3$ 时,土的级配较好; $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 时,累计曲线呈明显弯曲。当累计曲线呈阶梯状时,说明粒度不连续,即主要由大颗粒和小颗粒组成,缺少中间颗粒,表明土的级配不好,其工程地质性质也较差。

在工程上,常利用累计曲线确定土粒的两个级配指标值来判定土的级配情况。当同时满足不均匀系数 $C_u \geq 5$ 和曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 这两个条件时,土为级配良好的土;若不能同时满足,土为级配不良的土。

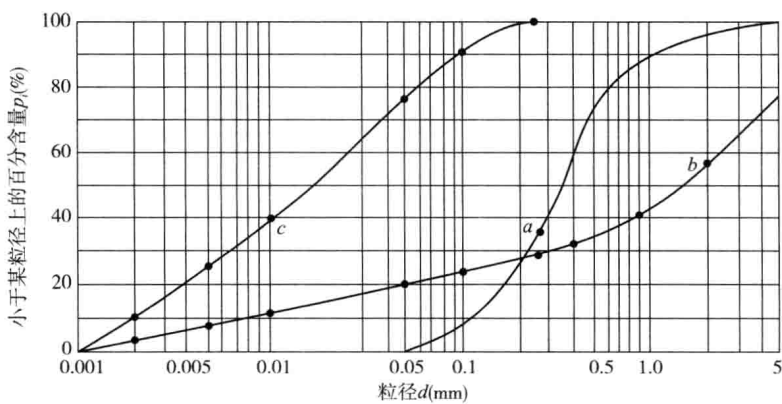


图 1-2 粒度成分累计曲线

2) 液相

土的液相是指土孔隙中存在的水。水在土中以三种状态存在:气态、液态、固态。

(1) 气态水

土孔隙中的空气在任何时候都存在有水汽,它与空气形成气态混合物。此种水是以水汽状态存在于土孔隙中,它能从气压高的空间向气压低的空间运移,并可在土粒表面凝聚转化为其他各种类型的水。气态水的迁移和聚集使土中水和气体的分布状态发生变化,可使土的性质发生改变。

(2) 液态水

可分为存在于矿物颗粒内部的水——化学结构水和化学结晶水,以及存在矿物颗粒表面的水——结合水和自由水,见表 1-3。

矿物颗粒表面的水

表 1-3

水的类型		主要作用力
吸着水(结合水)	强结合水	物理化学力
	弱结合水	
自由水	毛细水	表面张力及重力
	重力水	重力

(3) 固态水

此种水是当气温降至 0°C 以下时,由液态的自由水冻结而成。由于水的密度在 4°C 时为最大,低于 0°C 的冰,不是冷缩,反而膨胀,使基础发生冻胀。

土中水以冰的形态呈季节性出现,称为季节性冻结,在我国北方地区冬季可见。除此之外,在我国东北及西北的部分地区,还存在多年冻土层及永久性冻土层。

3) 气相

土中气体指土的固体矿物之间的孔隙中,没有被水充填的部分。土的含气量与含水率有密切关系。土孔隙中占优势的是气体还是水,土的性质有很大的不同。

土中气体的成分与大气成分比较,主要区别在于 CO_2 、 O_2 及 N_2 的含量不同。一般土中气体含有更多的 CO_2 ,较少的 O_2 ,较多的 N_2 。土中气体与大气的交换愈困难,两者的差别就愈大。

3. 土的物理性质指标

1) 三相内部组成关系

土是由固相(土粒)、液相(水)和气相(气体)组成的三相分散体系。前述已说明土中三相之间相互比例不同,土的工程性质也不同。现在需要定量研究三相之间的比例关系,即土的物理性质指标的物理意义和数值大小。利用物理性质指标可间接地评定土的工程性质。

为了求得三相比例指标,把土体中实际上是分散的三个相抽象地分别集合在一起:固相集中于下部,液相居中部,气相集中于上部,构成理想的三相图。在三相图的右边注明各相的体积,左边注明各相的质量,如图 1-3 所示。

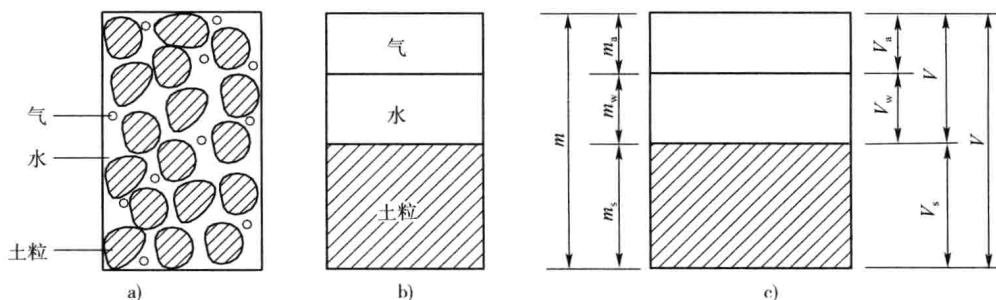


图 1-3 土的三相图

土样的体积 V 可由下式表示:

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (1-3)$$

式中: V_s 、 V_w 、 V_a ——土粒、水、空气的体积。

土样的质量 m 可由式(1-4)、式(1-5)表示:

$$m = m_s + m_w + m_a \quad (1-4)$$

或

$$m \approx m_s + m_w \quad m_a \approx 0 \quad (1-5)$$

式中: m_s 、 m_w 、 m_a ——土粒、水、空气的质量。

2) 土的密度 ρ 和土的重度 γ

(1) 物理意义

ρ 为单位体积土的质量。 γ 为单位体积土的重力,即 $\gamma = \rho g \approx 10\rho$ (kN/m^3)。

土的密度与土的结构、所含水分多少以及矿物成分有关。在测定土的天然密度时,必须用原状土样(即其结构未受扰动破坏,并且保持其天然结构状态下的天然含水率)。如果土的结构破坏了或水分变化了,则土的密度也就改变了,这样就不能正确测得真实的天然密度,用这种指标进行工程计算就会得出错误的结果。

(2) 表达式

$$\rho = \frac{\text{土的总质量}}{\text{土的总体积}} = \frac{m}{V} \quad (\text{g}/\text{m}^3) \quad (1-6)$$

(3) 常见值

$\rho = 1.6 \sim 2.2 \text{ g}/\text{cm}^3$, $\gamma = 16 \sim 22 \text{ kN}/\text{m}^3$ 。

(4) 常用测定方法

①环刀法。此法适用于细粒土。

用内径 6~8cm、高 2~3cm、壁厚 1~2mm 的不锈钢环刀切土样,用天平称其质量,按密度表达式计算而得。

②灌水法。此法适用于粗粒土和巨粒土。

现场挖试坑,将挖出的试样装入容器,称其质量,再用塑料薄膜平铺于试坑内,然后将水缓慢注入塑料薄膜中,直至薄膜袋内水面与坑口齐平,注入的水量的体积即为试坑的体积。

3) 土粒相对密度 G_s

(1) 物理意义

土在 105~110℃ 下烘至恒量时的质量与同体积 4℃ 蒸馏水质量的比值。土粒相对密度只与组成土粒的矿物成分有关,而与土的孔隙大小及其中所含水分多少无关。

(2) 表达式

$$G_s = \frac{\text{固体颗粒的质量}}{\text{同体积 4℃ 纯水质量}} = \frac{m_s}{V_s \rho_w} = \frac{m_s}{V_s} = \rho_s \quad (\text{数值上近似}) \quad (1-7)$$

ρ_s 称为土粒密度,是干土粒的质量 m_s 与其体积 V_s 之比。

(3) 常见值

砂土: $G_s = 2.65 \sim 2.69$

粉土: $G_s = 2.70 \sim 2.71$

黏性土: $G_s = 2.72 \sim 2.75$

(4) 常用测定方法

①比重瓶法。适用于粒径小于 5mm 的土。

用容积为 100mL 的比重瓶,将烘干土样 15g 装入比重瓶,用感量为 0.001g 的天平称瓶加干土质量。注入半瓶纯水后煮沸 1h 左右以排除土中气体,冷却后将纯水注满比重瓶,再称总质量并测定瓶内水温后经计算而得。

②浮称法。适用于粒径大于等于 5mm 的土,且其中粒径为 20mm 的土质量应小于总土质量的 10%。

③虹吸筒法。适用于粒径大于等于 5mm 的土,且其中粒径为 20mm 的土质量应大于等于总土质量的 10%。

④经验法。因各种土的相对密度值相差不大,仅小数点后第二位不同。若当地已进行大量土粒相对密度试验,则常采用经验值;但新到一地区则必须通过试验测定。

4) 土的含水率 w

(1) 物理意义

土的含水率表示土中含水的数量,为土体中水的质量与固体矿物质量的比值,用百分数表示。土的含水率只能表明土中固相与液相之间的数量关系,不能描述有关土中水的性质;只能反映孔隙中水的绝对值,不能说明其充满程度。

(2) 表达式

$$w = \frac{\text{水的质量}}{\text{固体颗粒质量}} = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-8)$$

(3) 常见值

砂土: $w = 0 \sim 40\%$

黏性土: $w = 20\% \sim 60\%$

当 $w \approx 0$ 时,砂土呈松散状态,黏土呈坚硬状态。黏性土的含水率很大时,其压缩性高,强度低。

(4) 常用测定方法

①烘干法。适用于黏质土、粉质土、砂类土和有机质土类,是含水率测定的标准方法。

取代表性试样,细粒土 15~30g,砂类土、有机土 50g,装入称量盒内称其质量后,放入烘箱内,在 105~110℃ 的恒温下烘干(细粒土不少于 8h,砂类土不少于 6h),取出烘干后土样冷却后再称量,计算而得。

②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。

将称完质量的试样盒放在耐热桌面上,倒入工业酒精至与试样表面齐平,点燃酒精,熄灭后用针仔细搅拌试样,重复倒入酒精燃烧 3 次,冷却后称质量,计算而得。

5) 反映土松密程度的指标

(1) 土的孔隙比 e

①物理意义

土的孔隙比为土中孔隙体积与固体颗粒的体积之比值。

土的孔隙比可直接反映土的密实程度,孔隙比愈大,土愈疏松;孔隙比愈小,土愈密实。它是确定地基承载力的指标。

②表达式

$$e = \frac{\text{孔隙体积}}{\text{固体颗粒体积}} = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-9)$$

③常见值

砂土: $e = 0.5 \sim 1.0$ 。当砂土 $e < 0.6$ 时,呈密实状态,为良好地基。

黏性土: $e = 0.5 \sim 1.2$ 。当黏性土 $e > 1.0$ 时,为软弱地基。

④确定方法

根据 ρ 、 G_s 和 w 实测值计算而得。

(2) 土的孔隙度(孔隙率) n

①物理意义

土的孔隙度表示土中孔隙大小的程度,为土中孔隙体积占总体积的百分比。

②表达式

$$n = \frac{\text{孔隙体积}}{\text{土体总体积}} = \frac{V_v}{V} \quad (1-10)$$

③常见值

$$n = 30\% \sim 50\%$$

④确定方法

根据 ρ 、 G_s 和 w 实测值计算而得。孔隙度 n 与孔隙比 e 相比,工程应用很少。

6) 土的干密度 ρ_d 和土的干重度 γ_d

(1) 物理意义

土的干密度指干燥状态下单位体积土的质量。土的干重度指干燥状态下单位体积土的重量(重力),即 $\gamma_d = \rho_d g \approx 10\rho_d (\text{kN/m}^3)$ 。土的干密度值的大小,主要取决于土的结构。因为它在这一状态下与含水率无关,加之土粒部分的矿物成分又是固定的,因此,土的结构即孔隙度的大小,影响着干密度值。一般规律是:土的孔隙度愈小,土愈密实,其干密度值愈大。

(2) 表达式

$$\rho_d = \frac{\text{固体颗粒质量}}{\text{土的总体积}} = \frac{m_s}{V} \quad (\text{g/m}^3) \quad (1-11)$$

(3) 常见值

$$\rho_d = 1.3 \sim 2.0 \text{g/m}^3$$

$$\gamma_d = 13 \sim 20 \text{kN/m}^3$$

(4) 确定方法

根据 ρ 和 w 实测值计算而得。

(5) 工程应用

土的干密度通常用作人工填土压实质量控制的指标。土的干密度 ρ_d (或干重度 γ_d) 越大, 表明土体压得越密实, 亦即工程质量越好, 但花费的压实费用也越高。一般认为 $\rho_d = 1.6 \text{g/m}^3$ 以上, 土就比较密实了。

7) 黏性土的稠度

黏性土的颗粒很细, 黏粒粒径 $d < 0.002 \text{mm}$, 细土粒周围形成电场, 电分子吸引水分子定向排列, 形成黏结水膜。土粒与土中水相互作用很显著, 关系极密切。如同一种黏性土, 当它的含水率小时, 土呈半固体坚硬状态; 当含水率适当增加, 土粒间距离加大, 土呈现可塑状态。如含水率再增加, 土中出现较多的自由水时, 黏性土变成液体流动状态。界限含水率与土状态的关系如图 1-4 所示。

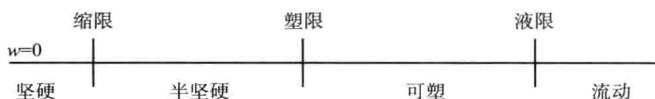


图 1-4 界限含水率与土状态的关系

黏性土随着含水率不断增加, 土的状态变化为固态—半固态—塑性—液态, 相应的地基土的承载力基本值 $f_0 > 450 \text{kPa}$, 逐渐下降为 $f_0 < 45 \text{kPa}$, 亦即承载力基本值相差 10 倍以上。由此可见, 黏性土最主要的物理特性是土粒与土中水相互作用产生的稠度, 即土的软硬程度或土对外力引起变形或破坏的抵抗能力。

黏性土的稠度, 反映土粒之间的连接强度随着含水率高低而变化的性质。其中, 各不同状态之间的界限含水率具有重要的意义。

(1) 液限 w_L (%)

①定义: 土从液体状态向塑性状态过渡的界限含水率。

②测定方法: 液塑限联合测定, 具体内容见《公路土工试验规程》(JTG E40—2007) 中 T 0118—2007 有关内容。

(2) 塑限 w_p (%)

①定义: 土从塑性状态向脆性固体状态过渡的界限含水率。

②测定方法: 液塑限联合测定, 具体内容见《公路土工试验规程》(JTG E40—2007) 中 T 0118—2007 有关内容。

液限和塑限, 在国际上称为阿太堡界限 (Atterberg Limit), 是黏性土的重要物理性质指标。

(3) 缩限 w_s (%)

①定义: 黏性土呈半固态与固态之间的界限含水率。这是因为土样含水率减少至缩限后, 土体体积发生收缩而得名。

②测定方法:用收缩皿法。

(4) 塑性指数 I_p

①定义:黏性土的液限与塑限的差值,记为 I_p :

$$I_p = (w_L - w_p) \times 100 \tag{1-12}$$

如某一土样, $w_L = 32.6\%$, $w_p = 15.4\%$, 则 $I_p = 17.2$, 非 17.2% 。

②物理意义:细颗粒土体处于可塑状态下,含水率变化的最大区间。一种土的 w_L 与 w_p 之间的范围大,即 I_p 大,表明该土能吸附结合水多,但仍处于可塑状态,即该土黏粒含量高或矿物成分吸水能力强。

③工程应用:用塑性指数 I_p 对细粒土进行分类和命名,现行的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007) 以此指标对黏性土分类。见表 1-4。

黏 性 土 的 分 类 表 1-4

塑性指数 I_p	$I_p > 17$, 黏土	$10 < I_p \leq 17$, 粉质黏土
------------	-----------------	---------------------------

(5) 液性指数 I_L

①定义:黏性土的液性指数为天然含水率与塑限的差值和液限与塑限差值之比。

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \tag{1-13}$$

②物理意义:液性指数又称相对稠度,是将土的天然含水率 w 与 w_L 及 w_p 相比较,以表明 w 是靠近 w_L 还是 w_p ,反映土的软硬不同。

③工程应用:用液性指数 I_L 来划分黏性土的稠度状态,见表 1-5。

液性指数 I_L 划分黏性土的稠度状态 表 1-5

《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) 中黏性土状态的规定
$I_L \leq 0$, 坚硬; $0 < I_L \leq 0.25$, 硬塑; $0.25 < I_L \leq 0.75$, 可塑; $0.75 < I_L \leq 1$, 软塑; $I_L > 1$, 流塑

另外,液性指数在公路工程中是确定黏性土承载力的重要指标。应当指出,根据液性指数所判定的稠度状态的标准值,是以室内扰动土样测定的,未考虑其土的结构影响,故只能做参考。

二、任务实施

实训项目一:烘干法(土的含水率试验)

1. 目的和适用范围

本试验方法适用于测定黏质土、粉质土、砂类土、砂砾石、有机质土和冻土土类的含水率。

2. 仪器设备

(1)烘箱:可采用电热烘箱或温度能保持 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 的其他能源烘箱。

(2)天平:称量 200g ,感量 0.01g ;称量 $1\,000\text{g}$,感量 0.1g 。

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

3. 试验步骤

(1)取具有代表性试样,细粒土 $15 \sim 30\text{g}$,砂类土、有机质土为 50g ,砂砾石为 $1 \sim 2\text{kg}$,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,平衡后称量结果减去称量盒质量即为湿土质量。

(2) 揭开盒盖,将试样和盒放入烘箱内,在温度 105 ~ 110℃ 恒温下烘干^①。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℃ 的恒温下,干燥 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)^②。冷却后盖好盒盖,称质量,准确至 0.01g。

4. 结果整理

(1) 按下式计算含水率:

$$w = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100 \tag{1-14}$$

式中: w ——含水率(%),计算至 0.1;

m ——湿土质量(g);

m_s ——干土质量(g)。

(2) 本试验记录格式见表 1-6。

含水率试验记录(烘干法) 表 1-6

工程编号 _____
土样说明 _____
试验日期 _____

试验者 _____
计算者 _____
校核者 _____

盒号		1	2	3	4
盒质量(g)	(1)	20	20	20	20
盒 + 湿土质量(g)	(2)	38.87	40.54	40.65	40.45
盒 + 干土质量(g)	(3)	35.45	36.76	36.16	35.94
水分质量(g)	(4) = (2) - (3)	3.42	3.78	4.49	4.51
干土质量(g)	(5) = (3) - (1)	15.45	16.76	16.16	15.94
含水率(%)	(6) = (4)/(5)	22.1	22.6	27.8	28.3
平均含水率(%)	(7)	22.4		28.1	

(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,允许平行差值应符合表 1-7 的规定。

含水率测定的允许平行差值 表 1-7

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

5. 报告

(1) 土的鉴别分类和代号。

(2) 土的含水率 w 值。

实训项目二:酒精燃烧法(土的含水率试验)

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。

① 对于大多数土,通常烘干 16 ~ 24h 就足够。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。

② 如铝盒的盖密闭,而且试样在称量前放置时间较短,可以不需要放在干燥器中冷却。