

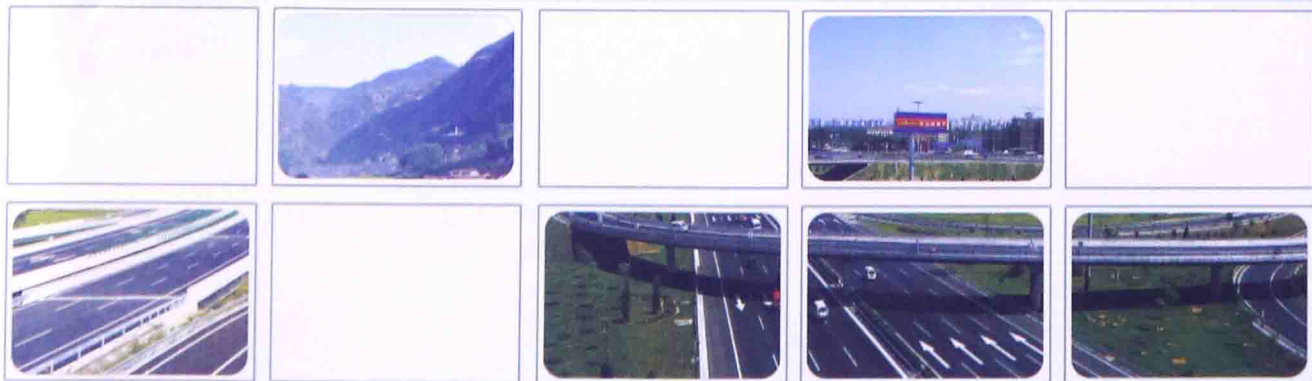


国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

道路建筑材料

(配套实训指导书)

尹 萍 贾富贵 主编
张征文 康忠寿 主审



人民交通出版社
China Communications Press

014055262

U414-43
08

国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

Daolu Jianzhu Cailiao
道路建筑材料
(配套实训指导书)

尹 萍 贾富贵 主编
张征文 康忠寿 主审



北航

C1740840

人民交通出版社

U414-43
08

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。其主要内容包括:路基填筑材料、砌体工程材料、钢筋水泥混凝土材料、路面基层材料和路面面层材料。

本书为高职高专院校道路桥梁工程技术及其相关专业教学用书,也可作为职业技能培训使用,或供有关工程技术人员参考。

* 为方便教学,本书配套实训指导书。

图书在版编目(CIP)数据

道路建筑材料 / 尹萍, 贾富贵主编. —北京: 人民交通出版社, 2014. 6

国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

ISBN 978-7-114-11200-3

I. ①道… II. ①尹…②贾 III. ①道路工程—建筑材料—高等职业教育—教材 IV. ①U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 032297 号

国家骨干院校重点建设专业校企合作教材

书 名: 道路建筑材料

著 作 者: 尹 萍 贾富贵

责任编辑: 胡娟娟

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: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15.5

字 数: 384 千

版 次: 2014 年 6 月 第 1 版

印 次: 2014 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11200-3

定 价: 46.00 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

国家骨干高职院校重点建设专业校企合作教材编审委员会
道路桥梁工程技术专业建设委员会

主任委员 李文时

副主任委员 刘建明 王海春 李元庆 张建明

陈湘青 许 云

委 员 段国胜 严莉华 商 可 李海岩

莫延英 李令喜 尹 萍 姚青梅

企业委员 史国良 王文祖 王 毅 夏长青

刘 宁 杨洪福 徐昌辉 吴海涛

王伦兵 张发军

序

2010年青海交通职业技术学院跻身于全国百所骨干高职院校行列,成为青藏高原和西北地区唯一一所交通运输类国家骨干高职院校,道路桥梁工程技术专业及专业群是中央财政重点支持建设的项目之一。

道路桥梁工程技术专业是青海省唯一培养公路桥梁大、中专学历层次的专业。经过了35年的发展,形成了高原特色鲜明的专业底蕴。近年来在“以就业为导向,以服务为宗旨,走产学研结合的发展道路”的办学方针指导下,结合行业和区域需求,突出职业教育的特点,积极探索校企合作培养模式,深化“校企合作、工学结合”的人才培养模式,形成符合“自然条件恶劣、地理条件复杂、工程建设艰难”特点的“知行合一、项目贯通、三合三段”的工学结合人才培养模式。

本套教材基于道路桥梁工程技术专业“知行合一、项目贯通、三合三段”的工学结合人才培养模式,在企业调研的基础上,吸收高职高专专业建设与课程体系开发的先进理念,结合现代教育技术,以“勘察设计与招标投标、材料试验与应用、施工与组织、验收与评定”5个专业核心能力为目标,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,体现了学校教学与企业实践的有机统一,并严格贯彻最新的技术标准和行业规范,突出高原特色。编写过程中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。

本教材的主要特点:

1. 从企业需求出发,重塑教学目标

本教材是从企业的需要及学生职业发展出发,让学生通过对专业的学习,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

根据道路桥梁工程技术专业人才培养目标,与企业合作进行职业岗位分析,确定道路桥梁工程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知识和能力。

本教材在编写过程中参考了近5年来不同版本的相关教材和规范规程,在此谨向各位参考文献编写的专家致以诚挚的谢意!

青海交通职业技术学院
国家骨干院校重点建设专业校企合作教材编审委员会
道路桥梁工程技术专业建设委员会
2012年12月

前 言

2010年,青海交通职业技术学院经教育部批准,建设国家骨干高职院校,道路桥梁工程技术专业被列为骨干校建设试点专业。道路桥梁工程技术专业构建了“知行合一、项目贯通、三合三段”人才培养模式,以勘测设计、招标与造价、材料试验与应用、施工与组织和质量验收与评定为核心,校企共同研究开发课程体系,构建了基于公路施工过程的专业课程体系。

本教材根据“知行合一、项目贯通、三合三段”人才培养模式中材料试验与应用能力要求,校企共同研究交通土建行业的发展和不同岗位的典型工作任务,从高职道路桥梁工程技术专业工作任务与职业能力中的材料试验和检测能力出发,以学生职业能力和基本知识的培养为主线,以国家标准、行业规范和规程为依据,以职业岗位工作任务为切入点进行编写。

本教材具有以下特点:

1. 教材编写将原有分散的知识与技能进行整合,实现了所学知识与职业岗位技能相对接,突出了培养学生的职业能力。

2. 以教学项目为单元进行课程知识、能力设计,培养学生独立决策、计划、实施、检查能力。

3. 采用了现行的国家标准和行业规范标准。

本教材共分为5个模块,17个学习单元:模块一、模块三单元一、模块四单元二由青海省育才公路工程检测试验中心贾富贵编写;模块二、模块三单元二~单元四、模块五单元三由青海交通职业技术学院尹萍编写;模块四单元一由青海交通职业技术学院衡秀云编写;模块五单元一由青海省育才公路工程监理有限公司吴平编写;模块五单元二由青海省育才公路工程监理有限公司李有太编写;模块五单元四由青海交通职业技术学院莫延英编写;模块五单元五由青海路桥建设股份有限公司杨洪福编写。全书由青海交通职业技术学院尹萍负责统稿工作。

本教材在编写过程中得到了浙江交通职业技术学院张征文、康忠寿等老师以及青海省育才公路工程检测试验中心的大力支持和帮助,在此表示感谢!附于书末的参考文献的作者们对本教材的完成给予了巨大支持,在此一并致以诚挚的谢意!

由于时间仓促,水平有限,教材中难免有错误之处,敬请广大读者批评指正,并将意见和建议及时反馈给我们,以便修订时完善。

为方便教师授课和学生自学,本教材配有实训指导书。

编 者

2012年12月

目 录

模块一 路基填筑材料	1
单元一 路基填筑土	1
单元二 土工合成材料	10
复习思考题	12
模块二 砌体工程材料	13
单元一 砌筑石料	13
单元二 水泥	16
单元三 集料	23
单元四 砂浆	26
复习思考题	31
模块三 钢筋混凝土材料	32
单元一 普通混凝土	32
单元二 普通混凝土的配合比设计	51
单元三 其他混凝土	60
单元四 钢筋混凝土用钢材	63
复习思考题	74
模块四 路面基层材料	75
单元一 石灰	76
单元二 无机结合料稳定材料	80
复习思考题	94
模块五 路面面层材料	95
单元一 沥青	95
单元二 沥青混合料	107
单元三 沥青混合料对组成材料要求	115
单元四 沥青混合料组成设计	119
单元五 道路水泥混凝土	140
复习思考题	146
参考文献	148

模块一 路基填筑材料

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。

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. 能判别路基填筑材料适用性。

单元一 路基填筑土

土是地壳表面的物质,是在长期风化、搬运、磨蚀、沉积作用过程中形成的大小不等、未经胶结的一种松散物质。随着形成过程和自然环境的不同,土的成分和性质千变万化,工程性质也千差万别。因此,在进行工程建设时,必须要结合土的实际性质进行设计和施工。

一、土的三相组成和粒度成分

1. 土、土体与三相组成

(1) 土的概念

土是由地壳岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积,形成由固体颗粒、液态水和气体组成的一种集合体如图 1-1a)所示。换言之,土是岩石风化的产物,在不同的风化作用条件下可形成不同性质的土,它包括土壤、黏土、砂、岩屑、岩块和砾石等。土的特征是颗粒与颗粒之间的黏结强度低,甚至没有黏结性。因此根据土粒之间有无黏结性,大致可将土分为砂类土(砾石、砂)和黏性土两大类。

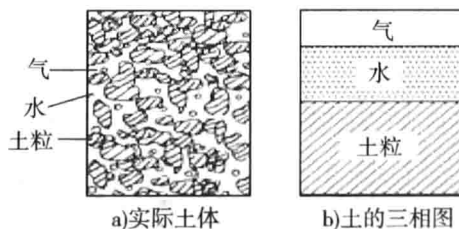


图 1-1 土的三相组成图

(2) 土体与三相组成

土体是指建筑场地范围内不同土层组成的单元体。土体中主要有固体颗粒、液态水和填充在孔隙中的气体。通常把土体看成是由固相(固体颗粒)、液相(液态水)和气相(气体)三部分组成的三相体(也称三相土),如图 1-1b)所示。土的固体颗粒构成土的骨架,骨架之间存在大量孔隙,孔隙中填充着液态水(液相)和气体(气相),因此土也被称为三相介质。

自然界土体的三相比例会随着周围环境条件的改变而变化。土的三相比例不同,土的状态和工程性质也各不相同。当土中孔隙只有气体填充时为干土;当土中孔隙由液态水和气体填充时为湿土;当土中孔隙只有液态水填充时为饱和土,所以饱和土和干土都是两相土,湿土

为三相土。

2. 土的粒度成分

(1) 粒组的划分

土的粒度是指土颗粒的大小,用粒径表示,通常以毫米(mm)为单位。工程上通常把土粒由粗到细,每一区段中所包括大小比例相近且工程性质基本相同的颗粒合并为组,称为粒组。每个粒组的区间常以其粒径的上、下限给该粒组命名,如砾粒、砂粒、粉粒、黏粒等,各组内还可细分成若干亚组。根据《公路土工试验规程》(JTG E40—2007),粒组划分见表 1-1。

粒组划分表(单位:mm)								表 1-1	
200	60	20	5	2	0.5	0.25	0.075	0.002	
巨粒组		粗粒组					细粒组		
漂石 (块石)	卵石 (小块石)	砾(角砾)粒			砂粒			粉粒	黏粒
		粗	中	细	粗	中	细		

(2) 粒度成分及粒度成分分析

工程上常把组成土的各种大小颗粒的相互比例关系称为土的粒度成分(通常以占总质量的百分比计)。各粒组之间的相互搭配关系称为颗粒级配。

粒度成分分析方法有两大类,一是利用各种方法把各个粒组按粒径分离开来,直接测出各粒组的百分含量,称为直接测定法,如筛分法、移液管法等;二是根据各粒组的某些不同特性,间接地判定土中各粒组的含量,称为间接测定方法,如密度计法。我国对于粒径大于 0.075mm 的粗粒土,一般采用筛分法直接测定;对于粒径小于 0.075mm 的细粒土,用移液管法或密度计法测定;若土中粗细颗粒兼有时,则可联合使用上述两种方法。

粒度成分常用的表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法。

表格法:就是在粒度成分分析后,按粒径由大到小划分的各粒组及其测定的质量百分率,用表格的形式直接表示其颗粒级配情况,在同一表格中可以表示多种土样的粒度成分分析结果。

累计曲线法:通常用半对数坐标绘制。横坐标表示土粒粒径 d_i ,纵坐标表示小于某一粒径的质量分数 p_i ,绘制累计曲线图如图 1-2 所示。从累计曲线图上可以看出:曲线平缓,表明土的粒度成分混杂,大小粒组都有,各粒组的相对含量都差不多;曲线坡度较陡,表明土的粒度成分比较单一,斜率最大线段所包括的粒组在土样中的含量最多,成为具有代表性的粒组。

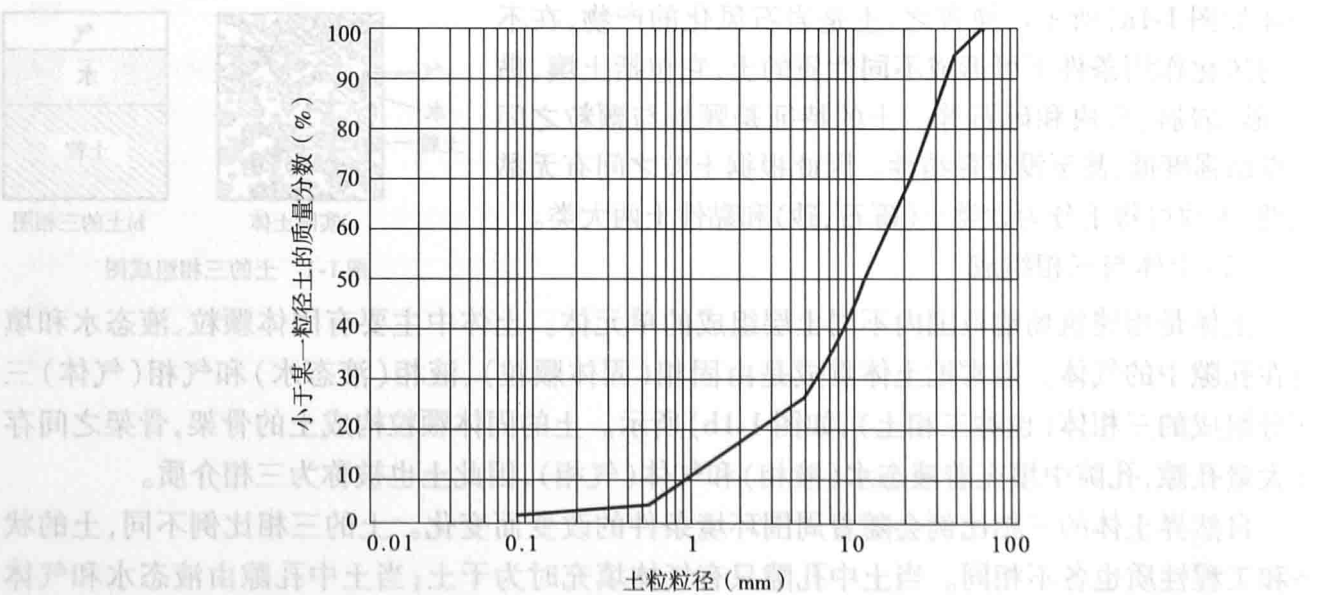


图 1-2 某土样的粒度成分累计曲线图

三角坐标法是利用等边三角形内在任意一点至三个边的垂直距离的总和恒等于三角形之高的原理,用图标法表示组成土的三个粒组的相对含量。

从累计曲线可以直观地判断土中各粒组的分布情况;同时累计曲线可确定不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 。

其中,不均匀系数 C_u 可表示为:

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

曲率系数(或称级配系数) C_c 可表示为:

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

式中: d_{10} ——土的有效粒径,即土中小于该粒径的颗粒质量为总质量 10% 的粒径,mm;

d_{60} ——土的 limit 粒径,即土中小于该粒径的颗粒质量为总质量 60% 的粒径,mm;

d_{30} ——土的平均粒径,即土中小于该粒径的颗粒质量为总质量 30% 的粒径,mm。

不均匀系数 C_u 反映土的粗细情况和级配情况。 C_u 值越大,曲线越平缓,表明土的颗粒大小分布范围大,土的级配良好; C_u 值越小,曲线越陡,表明土的颗粒大小相近,土的级配不良。一般认为不均匀系数 $C_u < 5$ 时的土为匀粒土,其级配不好; $C_u \geq 5$ 时的土为非匀粒土,其级配良好。但仅用不均匀系数 C_u 来确定土的级配情况是不够的,还必须同时考虑曲率系数 C_c 的大小, C_c 值越大,表明土的均匀程度高;反之,均匀程度低。在工程上,常利用累计曲线确定的土粒两个级配指标来判断土的级配优劣情况。当同时满足不均匀系数 $C_u \geq 5$ 和曲率系数 C_c 这两个条件时,土为级配良好的土;若不能同时满足,则土为级配不良的土。

二、土的物理性质指标

土的物理性质指标,是指土中固相、液相、气相三者在体积和质量方面的相互配比的数值。土的三相关系简图如图 1-3 所示。土的物理性质指标分两类:一类是实测指标,它通过试验直接测定(如土的天然密度、含水率和土粒比重等);另一类是导出指标,它是以实测指标为依据推导而得出的(如土的干密度、孔隙比、孔隙率、饱和密度、水下密度和饱和度等)。

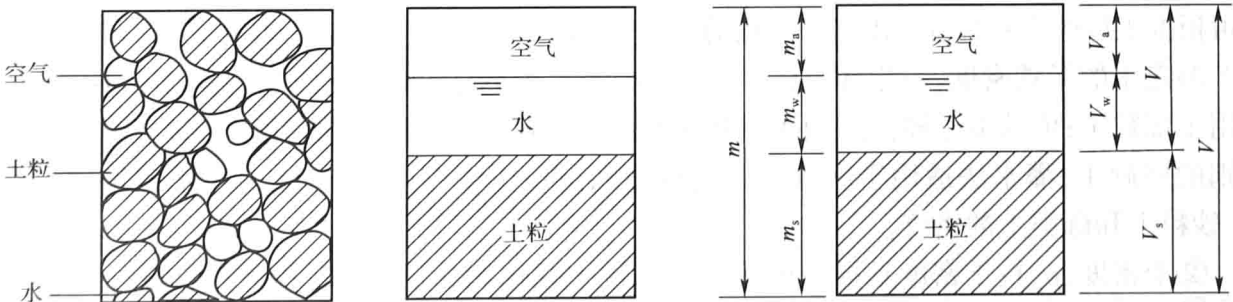


图 1-3 土的三相关系简图

1. 土的质量指标

(1) 土粒比重(G_s)

土粒比重是指土粒在 105 ~ 110℃ 下烘干至恒重时的质量与 4℃ 时同体积纯水质量的比值,它是土的基本物理性质指标之一,按式(1-3)计算。

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \tag{1-3}$$

式中: G_s ——土粒比重;

m_s ——干土粒的质量, g;

V_s ——干土粒的体积, cm^3 。

土粒比重只与组成土的矿物成分有关,而与土的孔隙大小无关。一般砂土土粒比重为 2.65,黏土土粒比重可达 2.75,含腐殖质多的黏性土其相对密度较小,土粒比重约为 2.60。

土粒比重常用比重瓶法测定。通常将 15g 烘干试样装入容积为 100mL 玻璃制的比重瓶,用 0.001g 精度的天平称比重瓶加干土质量。注入半瓶水后煮沸约 1h 以排除土中气体,冷却后将纯水注满比重瓶,使多余水分自瓶塞毛细管中溢出,再称总质量并测量比重瓶内水温,计算得出土粒比重。此法适用粒径小于 5mm 的土;对于粒径大于或等于 5mm 的土,可用浮力法、浮称法与虹吸筒法测定。

(2) 土的密度

土的密度是指土的总质量与土的总体积的比值,单位为 g/m^3 。这里所说的总质量包括土粒的质量(m_s)、土孔隙中水的质量(m_w)和气体的质量(m_a),因气体质量极小,可视为 $m_a \approx 0$ 。根据土孔隙中水的情况可将土的密度分为天然密度(ρ)、干密度(ρ_d)、饱和密度(ρ_f)和水下密度(ρ')。

①天然密度(ρ):天然密度是指在天然状态下土的单位体积的质量,包括干土粒的质量(m_s)和孔隙中水的质量(m_w),故又称湿密度,它是土的基本物理性质指标之一,按式(1-4)计算。

$$\rho = \frac{m_w + m_s}{V} = \frac{M}{V} \quad (1-4)$$

式中: ρ ——土的天然密度, g/cm^3 ;

m_w ——土孔隙中水的质量, g;

m_s ——土中干土粒的质量, g;

V ——土的总体积, cm^3 ;

M ——土的总质量, g。

土的密度与土的结构、所含水分的多少以及矿物成分有关,所以在测定土的天然密度时,必须用原状土样。原状土是指天然结构与天然含水率没有发生变化的土。测定土的天然密度也可根据工程的需要制备所需状态的扰动土样。土的天然密度一般在 $1.60 \sim 2.20 \text{g}/\text{m}^3$ 范围内。

测定土的天然密度,可用环刀法、电动取土器法、蜡封法、灌水法、灌砂法等。其中,环刀法适用于细粒土;电动取土器法适用于硬塑土密度的快速测定;蜡封法适用于易破裂土和形状不规则的坚硬土;灌水法适用于现场测定粗粒土和巨粒土的密度;灌砂法适用于现场测定细粒土、砂粒土和砾类土的密度。

②干密度(ρ_d):干密度是指干燥状态下单位土总体积的质量,即土中干土粒的质量(m_s)与土的总体积(V)之比,按式(1-5)计算。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (1-5)$$

式中: ρ_d ——土的干密度, g/cm^3 ;

m_s ——土中干土粒的质量, g;

V ——土的总体积, cm^3 ;

ρ ——土的天然密度, g/cm^3 ;

w ——土的含水率, %。

土的干密度实际上是土中完全不含水分的密度。某一土样干密度的大小,主要取决于土的结构,即土孔隙率的大小影响土的干密度。一般情况下,土的干密度越大,土越密实,孔隙率越小。土的干密度在一定程度上反映了土粒排列的紧密程度,作为人工填土压实的控制指标,在工程中常用它计算压实度 K ,按式(1-6)计算。

$$K = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中: K ——压实度,%;

ρ_d ——工地实测的干密度, g/cm^3 ;

ρ_{dmax} ——标准击实试验所得的最大干密度, g/cm^3 。

③饱和密度(ρ_f):饱和密度是指当土的孔隙率中全部用水充满时的密度,按式(1-7)计算。

$$\rho_f = \frac{m_s + m'_w}{V} = \frac{m_s + V_n \rho_w}{V} \quad (1-7)$$

式中: ρ_f ——土的饱和密度, g/cm^3 ;

m'_w ——土的孔隙中充满水时的质量,g;

ρ_w ——4℃时纯水的密度, g/cm^3 ;

V_n ——土的孔隙体积, cm^3 。

④水下密度(ρ'):土的水下密度是指在地下水位以下,土体受水的浮力作用时,单位体积土体中土粒的质量扣除土体排开同体积水的质量,又称为浮密度或浸水密度,按式(1-8)计算。

$$\rho' = \frac{m_s + m'_w - V \rho_w}{V} = \rho_f - 1 \quad (1-8)$$

式中: ρ' ——土的水下密度, g/cm^3 。

2. 土的含水性指标

土的含水率是指土中水的质量与干土颗粒质量的比值,它是土的基本物理性质指标之一,表征土中含水情况的指标有天然含水率、饱和含水率和饱和度。

(1) 天然含水率(w)

土的天然含水率是指土在 105 ~ 110℃ 下烘至恒重时所失去水分的质量和达到恒重时干土质量的比值,一般用百分数表示,按式(1-9)计算。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中: w ——土的天然含水率,%。

测定土的天然含水率时,要求直接采用原状土进行测定。含水率的测定方法很多,主要有烘干法、酒精燃烧法和比重法。

(2) 饱和含水率(w_g)

土的饱和含水率是指土的孔隙全部被水充满,达到饱和时的含水率,即土的孔隙中充满水时水的质量与干土粒质量的比值,按式(1-10)计算。

$$w_g = \frac{m'_w}{m_s} \times 100\% = \frac{V_n \rho_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中: w_g ——土的饱和含水率,%。

(3) 饱和度(S_r)

土的饱和度是指孔隙中水的体积 V_w 与孔隙体积 V_v 之比,按式(1-11)计算。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中: S_r ——土的饱和度,%;

V_w ——孔隙中水的体积, cm^3 ;

V_v ——孔隙体积, cm^3 。

土的饱和度是一个辅助性指标,它可以用来评价土的干湿状态。对于完全干燥的土, $S_r = 0$;对于完全饱和的土, $S_r = 1$ 。根据土的饱和度,可以把砂类土分为稍湿($S_r \leq 50\%$)、很湿($50\% < S_r \leq 80\%$)和饱和($S_r > 80\%$)三种状态。

颗粒较粗的砂类土对含水率的变化不敏感,当 w 发生变化时,它的工程性质变化不大,所以对于砂类土的物理状态可采用 S_r 来反映;但颗粒较细的黏性土,对含水率的变化十分敏感,随着 w 增加,土的体积也发生了改变,因而黏性土一般不用 S_r 这一指标。

3. 土的孔隙性指标

土中存在着许多孔隙及其所具有的一些特性,称为土的孔隙性。土的透水性、压缩性等物理特性都与土的孔隙性有密切的关系。孔隙性指标有孔隙率、孔隙比和砂类土的相对密实度。

(1) 孔隙率(n)

土的孔隙率是指土体中孔隙的体积占总体积的百分比,又称孔隙度。它表示土中孔隙大小的程度,按式(1-12)计算。

$$n = \frac{V_n}{V_s} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中: n ——土的孔隙率,%。

在工程计算中, n 是常用指标,一般为 30% ~ 50%。

孔隙率不是一成不变的,影响孔隙率大小的因素有很多,如土的结构发生变化,孔隙率会发生变化。粒度成分对孔隙率的影响,非匀粒土的孔隙率要小于匀粒土的孔隙率。具有海绵结构的黏性土,单个孔隙很小,但数量很多,水在其中为结合水,所以黏性土的孔隙率可以大于 50%。

当土的结构因受外力而改变时,孔隙率也随之而改变。

(2) 孔隙比(e)

孔隙比是土中孔隙体积与土粒体积的比值,常用小数表示,按式(1-13)计算。

$$e = \frac{V_n}{V_s} \quad (1-13)$$

式中: e ——土的孔隙比。

土的孔隙比直接反映土的紧密程度,孔隙比越大,土越疏松;孔隙比越小,土越密实。一般在天然状态下的土,若 $e < 0.6$,可作为良好的地基;若 $e > 1$,表明土中 $V_n > V_s$,是工程性质不良的土。

n 与 e 都是反映孔隙性的指标,但在应用上却有所不同,凡是用于与整个土的体积有关的测试时,一般用 n 较为方便;但若是要对比一种土的变化状态时,则用 e 较为准确。由于 V_s 是不变的,可视为定值,土在荷载作用下引起 V_n 的变化,而 e 的变化直接与 n 的变化成正比,所以 e 能明显地反映孔隙体积的变化。在工程设计计算中常用 e 这一指标。

孔隙率与孔隙比的相互关系见式(1-14)。

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad \text{或} \quad n = \frac{e}{1 + e} \tag{1-14}$$

(3)砂类土的相对密实度(D_r)

密实度是反映砂类土松紧状态的指标,常用相对密实度来表示,也称为无凝聚性土的相对密实度。砂类土天然结构(即土粒排列松紧)的状况,对其工程性质有极大影响。砂类土在最松散状况下的孔隙比为最大孔隙比 $e_{\max}$;经振动或捣实后,砂砾间相互靠拢压密,其孔隙比为最小孔隙比 $e_{\min}$;在天然状态下的孔隙比为 e 。

砂类土的相对密实度就是指最大孔隙比和天然孔隙比之差与最大孔隙比和最小孔隙比之差的比值,一般用小数或百分数表示,按式(1-15)计算。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \tag{1-15}$$

式中: D_r ——砂类土的相对密实度。

当 $D_r = 0$,即 $e = e_{\max}$ 时,表示砂类土处于最疏松状态;当 $D_r = 1$,即 $e = e_{\min}$ 时,表示砂类土处于最紧密状态。

《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)中规定用 D_r 来判定砂类土的相对密实度,将砂类土分为四级,见表 1-2。

砂类土相对密实度划分表 表 1-2

分级		相对密实度 D_r	标准贯入平均击实数(63.5kg)
密实		$D_r \geq 0.67$	30 ~ 50
中密		$0.33 < D_r < 0.67$	10 ~ 29
松散	稍松	$0.20 \leq D_r \leq 0.33$	5 ~ 9
	极松	$D_r < 0.20$	<5

土的 10 个物理性质指标(G_s 、 ρ 、 w 、 ρ_d 、 ρ_f 、 ρ' 、 w_g 、 S_r 、 n 、 e)并非各自独立、互不相关, G_s 、 ρ 和 w 为基本物理性质指标,必须通过试验直接测定,称为三项实测指标,其余指标可由三个试验指标计算导出,其换算关系见表 1-3。

土的主要物理性质指标一览表 表 1-3

指标名称	表达式	参考数值	指标来源	实际应用
土粒比重 G_s	$G_s = \frac{m_s}{V_s \cdot \rho_w}$	2.60 ~ 2.75	由试验测定	换算 n 、 e 、 ρ_d
天然密度 ρ (g/cm ³)	$\rho = \frac{M}{V}$	1.60 ~ 2.20	由试验测定	换算 n 、 e ,说明土的密度
干密度 ρ_d (g/cm ³)	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	1.30 ~ 2.00	$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w}$	换算 n 、 e 、 s 粒度分析,压缩试验资料整理
饱和密度 ρ_f (g/cm ³)	$\rho_f = \frac{m_s + V_n \rho_w}{V}$	1.80 ~ 2.30	$\rho_f = \frac{\rho(G_s - 1)}{G_s(1 + w)} + 1$ 或 $\rho_f = \rho_d + n\rho_w$	
水下密度 ρ' (g/cm ³)	$\rho' = \frac{m_s - V_n \rho_w}{V}$		$\rho' = \frac{\rho(G_s - 1)}{G_s(1 + \omega)}$ 或 $\rho' = \rho_f - \rho_w$	计算潜水面以下地基自重应力;分析人工边坡稳定

续上表

指标名称	表达式	参考数值	指标来源	实际应用
天然含水率 w (%)	$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$	0 ~ 100%	由试验确定	换算 S_r 、 ρ_d 、 n 、 e , 计算土的稠度指标
饱和含水率 w_g (%)	$w_g = \frac{V_n \rho_w}{m_s} \times 100\%$	0 ~ 100%	$w_g = \frac{G_s(1+w) - \rho}{G_s \rho} \times 100\%$	
孔隙率 n (%)	$n = \frac{V_n}{V} \times 100\%$		$n = \left[1 - \frac{\rho}{G_s(1+w)} \right] \times 100\%$	计算地基承载力;估计砂土密度和渗透系数;压缩试验调整资料
孔隙比 e	$e = \frac{V_n}{V_s}$		$e = \frac{G_s(1+w)}{\rho} - 1$	换算 n 和 ρ' , 说明土中孔隙体积

三、黏性土的稠度与塑性

1. 稠度、稠度状态和界限含水率

土的软硬程度特性称为稠度。土随着含水率的增高,从固体状态变为半固体状态到可塑状态转变为流动状态,这些不同的物理状态称为土的稠度状态。通常把土的稠度状态分为固态、半固态、塑态、液态等。

黏性土由一种稠度状态转变到另一种稠度状态的分界含水率称为界限含水率(表 1-4)。

土的稠度及界限含水率 表 1-4

稠度状态	稠度特征	界限含水率	含水率减少方向	土体积缩小方向
流塑的	呈层状流动	液限 w_L 塑限 w_p 缩限 w_s		
可塑的	塑性可变			
半干硬的	不易变形			
干硬的	坚硬难变形		土体积不变	

工程上常用的分界含水率有缩限、塑限、液限,它对黏性土的分类和工程性质的评价有重要意义。

(1) 缩限(w_s)

黏性土呈半固态不断蒸发水分,体积不断缩小,直到体积不再变化时的界限含水率称为缩限。

(2) 塑限(w_p)

黏性土由半固态转到可塑状态的界限含水率称为塑限。

(3) 液限(w_L)

黏性土由可塑状态转到流动状态的界限含水率称为液限。

2. 塑性指数(I_p)

土的塑性是指土在一定外力作用下可以塑造成任何形状而不改变其整体性,当外力取消后,在一段时间内仍保持其已变形后的形态而不恢复原状的性能,也称为土的可塑性。塑性状态是黏性土的一种特殊状态,因此,黏性土又称为塑性土。判断土的可塑性强弱的指标采用塑性指数 I_p ,即土的液限与塑限之差,按式(1-16)计算。

$$I_p = w_L - w_p$$

(1-16)

式中: I_p ——土的塑性指数;
 w_L ——土的液限;
 w_p ——土的塑限。

黏性土塑性指数的大小主要取决于土中黏粒、胶粒及矿物成分的亲水性,即土中黏粒、胶粒含量越多,亲水性越强,土的塑性指数越大,可塑性越强;反之则越小。

3. 液性指数(I_L)

黏性土的液性指数又称相对稠度,是天然含水率和塑限的差值与液限和塑限的差值之比,按式(1-17)计算。

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \tag{1-17}$$

黏性土的液性指数是反映土的稠度的指标。对于某种黏性土,其液限 w_L 和塑限 w_p 都是一定值,土的天然含水率越大,液性指数越大,土越稀软。在工程上,为了更好地掌握天然土的稠度状态,将液性指数划分为 5 级,见表 1-5。

黏性土的相对稠度状态					表 1-5
液性指数值	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$
相对稠度状态	干硬状态	硬塑状态	易塑状态	软塑状态	流动状态
	半固体状态	塑性状态			液流状态

4. 天然稠度(w_c)

黏性土的液限和天然含水率的差值与液限和塑限的差值之比,称为天然稠度,按式(1-18)计算。

$$w_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} \tag{1-18}$$

在公路工程中,常用天然稠度来区分黏性土的状态,它与液性指数的关系是 $w_c + I_L = 1$ 。

四、土的击实性

在工程建设中,经常遇到填土或软弱地基,为了改善这些土的工程性质,常采用击实(或夯实)的方法使土变得密实,称为土的击实性。使土变密实的方法是指采用人工或机械对土施以夯压能量(如夯、碾、振动等),在短时间内使土颗粒重新排列紧密,获得最佳结构,以改善和提高土的力学性能。

填土与原状土不同,填土经过挖掘、搬运之后,其原状结构已被破坏,含水率也已变化,堆填时必然在土团之间留下许多大空隙,未经击实的填土强度低,压缩性大而且不均匀,遇水也易发生塌陷、崩解等现象。为使其满足工程要求,必须按一定标准击实,特别是像路堤这样的土工构筑物,在车辆的频繁运行和反复动荷载作用下,可能出现不均匀或过大的沉陷或塌落,甚至失衡滑动,从而恶化运营条件以及增加维修工作量,所以路堤填土必须具有足够的密实度才能确保行车平顺和安全。

击实是指对土瞬时重复施加一定的机械功使土体变密的过程。标准击实试验是研究土的击实性能的室内基本试验方法。

黏性土的击实特性:图 1-4 是根据黏性土的击实数据绘出的击实曲线。由图 1-4 可知,随着含水率的增加,土的干密度也逐渐增大,表明击实效果逐步提高,当含水率超过某一限值时,干密度则随着含水率增大而减小,即击实效果下降。这说明土的击实效果随着含水率变化而

变化,并在击实曲线上出现一个峰值,相应于这个峰值的含水率是最佳含水率(w_{op})。

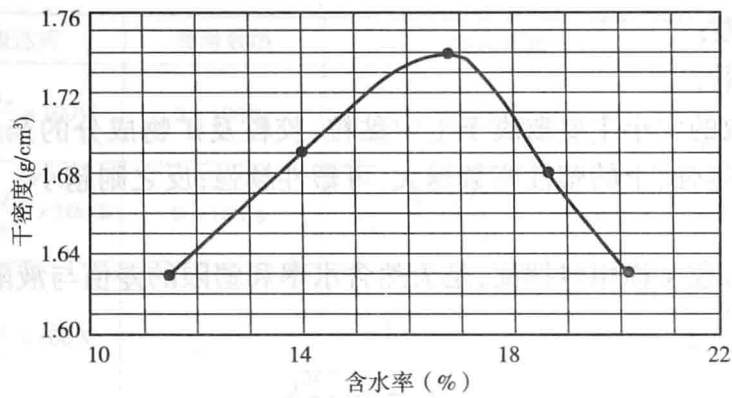


图 1-4 击实曲线

同一种土样塑限与土的最佳含水率有一定的内在联系,根据实践经验可知:黏性土的最佳含水率 w_{op} 与土的塑限 w_p 之间的关系是 $w_{op} = w_p + 2$ 。土中所含黏性土矿物越多、颗粒越细,最佳含水率越大。另外,最佳含水率还与击实功的大小有关。除了含水率、击实功对土的击实影响外,土粒级配对击实效果也有显著影响,均匀颗粒的土不易击实,因此在工程建设中,要选择符合级配要求的土作为路堤填料。

无黏性土的击实特性:无黏性土颗粒较粗,颗粒之间没有或只有很小的黏聚力,不具有可塑性,多呈单粒结构。无黏性土压缩性小、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。

工程实践证明,对于无黏性土的击实,应该有一定静荷载与动荷载联合作用,才能达到较好的击实性。

单元二 土工合成材料

路基填筑材料中除了一些土质外,还有砂石材料以及一些土工合成材料。应用于公路建设的土工合成材料是以各类合成材料为原材料制成的新型建筑材料,现已广泛应用。土工合成材料对某些强酸性物和强碱性物反应较敏感,在应用土工合成材料时,需根据应用目的和具体的工程结构对材料进行选择,通常采用聚乙烯纤维、聚丙烯纤维、聚酯纤维和聚酯胺纤维等原料制造土工合成材料,产品主要有土工织物、土工膜、土工复合材料、土工格栅、土工带、土工格室、土工网、土工模袋和土工网垫等。在工程中主要起过滤、排水、隔离、加筋、防护和封闭作用。

一、土工合成材料的概念

土工合成材料是岩土工程和土木工程中所应用的合成材料的总称。它是指以人工合成的聚合物,如塑料、化纤、合成橡胶等为原料,制成各种类型的产品,置于土体内部、表面或各层土体之间,能发挥加强或保护土体的作用的岩土工程材料。

二、土工合成材料的类型和应用

1. 土工织物

土工织物是采用编织技术生产的透水性土工合成材料,呈布状,故俗称土工布。土工织物