

建设工程质量检测人员培训丛书

DIJICHU GONGCHENG JIANCE

地基基础工程检测

河南省建设工程质量监督总站 编

 黄河水利出版社

建设工程质量检测人员培训丛书

地基基础工程检测

河南省建设工程质量监督总站 编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是建设工程质量检测人员培训丛书的一个分册,按照国家《建设工程质量检测管理办法》和《河南省建设工程质量检测管理实施细则》的要求,依据国家技术法规、强制性标准、施工规范以及河南省地方标准编写完成。本书分地基基础工程基本知识和地基基础工程检测两篇,主要内容包括土的物理性质及工程分类、土的抗剪强度、地基承载力、地基处理、桩的类型及其特点、基桩动测波动理论基础、地基及复合地基承载力静载试验、桩的承载力检测、桩身完整性检测、锚杆锚定力检测等。

本书为建设工程质量检测人员培训教材,也可供从事建设工程管理、规划设计、施工等技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础工程检测/河南省建设工程质量监督总站编.
郑州:黄河水利出版社,2006.8
(建设工程质量检测人员培训丛书)
ISBN 7-80734-103-3

I.地… II.河… III.①地基-基础(工程)-质量检验-技术培训-教材 IV.TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 091354 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:wlp@yrpc.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:hhsclcs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:11.5

字数:265 千字

版次:2006 年 8 月第 1 版

印次:2006 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-103-3/TU·68

定价:25.00 元

建设工程质量检测人员培训丛书

编辑委员会

主任 何 雄
副主任 千战应 王晓惠 马耀辉 顾孝同
委员 (按姓氏笔画排序)
王俊林 冷元宝 李宗明 赵海生
管品武

《地基基础工程检测》

编写人员

主 审 千战应
主 编 顾孝同
副主编 赵海生 王俊林 冷元宝
参 编 杨建中 王长宝 朱松梅 马清华

编者的话

建筑业是拉动我国经济增长的支柱产业,提高建设工程质量和人民居住环境质量是建筑业的长期战略方针,建设工程质量检测是控制工程质量的基础和主要手段。随着国家《建设工程质量检测管理办法》的颁布实施,工程质量检测机构将成为工程建设的另一方责任主体。河南省是建筑大省,为了迅速提高全省建设工程质量检测机构工作人员的素质,根据国家《建设工程质量检测管理办法》和《河南省建设工程质量检测管理实施细则》的要求,河南省建设工程质量监督总站组织编写了建设工程质量检测人员培训丛书。该套丛书依据国家技术法规、强制性标准、施工规范以及河南省地方标准,系统地介绍了建设工程质量涉及的基础理论知识,详细论述了建设工程质量检测的工作要点,依据国家颁布的最新标准规范了建设工程质量检测的方法,以期对提高建设工程的质量作出贡献。

建设工程质量检测人员培训丛书包括《建筑材料检测》、《地基基础工程检测》、《主体结构工程检测》、《建筑幕墙工程检测》、《钢结构工程检测》等分册。

地基基础工程检测是建设工程质量检测的主要项目之一。《地基基础工程检测》一书分地基基础工程基本知识和地基基础工程检测两篇,主要内容包括土的物理性质及工程分类、土的抗剪强度、地基承载力、地基处理、桩的类型及其特点、基桩动测波动理论基础、地基及复合地基承载力静载试验、桩的承载力检测、桩身完整性检测、锚杆锁定力检测等。

该书编写分工如下:第一篇由河南省建设工程质量监督总站顾孝同、郑州大学王俊林编写,第二篇由河南省建筑科学研究院赵海生、黄河水利科学研究院冷元宝编写,参加本书编写的还有杨建中、李保华、王长宝、朱松梅、马清华,全书由顾孝同统稿、河南省建设工程质量监督总站千战应主审。

由于时间仓促,加之编者水平所限,不当之处,希望读者指正。同时,对参考文献的作者表示由衷的感谢!

编者

2006年6月

目 录

编者的话

第一篇 地基基础工程基本知识

绪 论	(3)
第一章 土的物理性质与工程分类	(5)
第一节 土的组成	(5)
第二节 土的物理性质指标	(9)
第三节 无粘性土的密实度	(11)
第四节 粘性土的物理性质	(13)
第五节 土体的变形特性	(15)
第六节 土的工程分类	(17)
第二章 土的抗剪强度	(21)
第一节 库仑公式	(21)
第二节 土的抗剪强度指标的选择	(22)
第三章 地基承载力	(27)
第一节 地基土的破坏形式	(27)
第二节 按塑性开展深度确定地基承载力	(29)
第三节 地基极限承载力的确定	(31)
第四节 按规范表格确定地基承载力	(34)
第四章 地基处理	(37)
第一节 概 述	(37)
第二节 碾压法与夯实法	(39)
第三节 换土垫层法	(42)
第四节 排水固结预压法	(45)
第五节 挤密法和振冲法	(47)
第六节 高压喷射注浆法与水泥土搅拌法	(50)
第七节 其他地基处理方法	(52)
第五章 桩的类型及其特点	(55)
第一节 概 述	(55)
第二节 桩的分类	(56)
第三节 各类桩的类型、特点与适用条件	(59)
第四节 桩的承载机理	(63)
第六章 基桩动测波动理论基础	(67)
第一节 一维波动方程及其解答	(67)

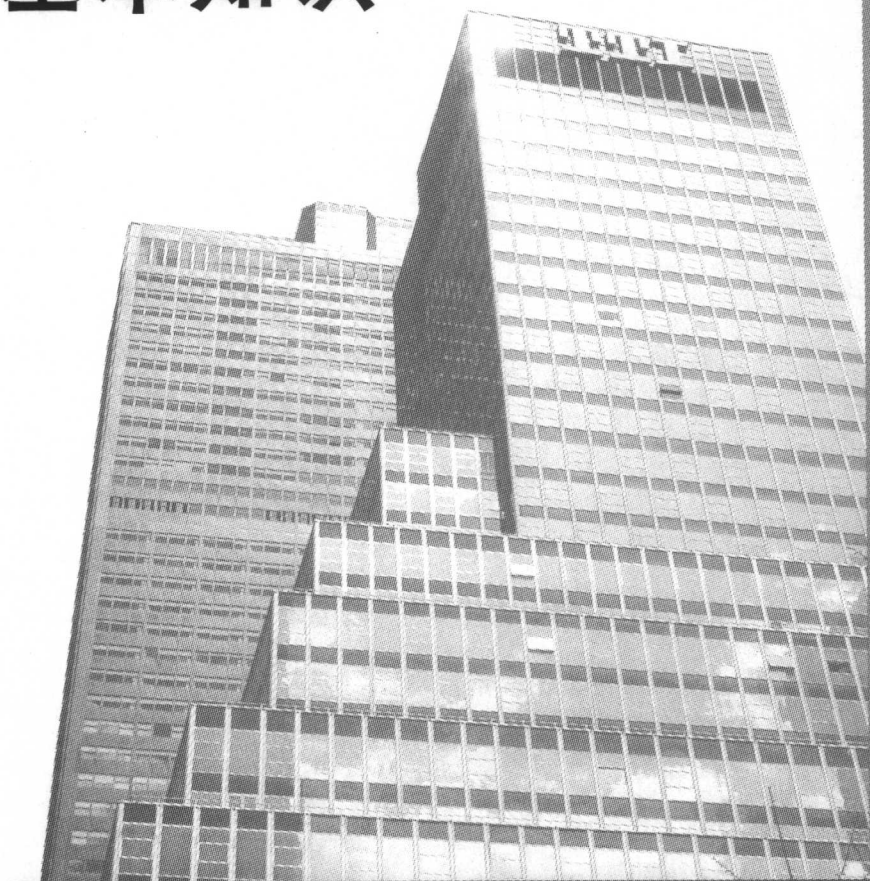
第二节	应力波的相互作用在不同阻抗界面上的反射和透射	(74)
第三节	波形频域分析	(80)
第四节	基于一维波动理论的桩—土相互作用的数值解模型	(82)

第二篇 地基基础工程检测

第七章	地基及复合地基承载力静载试验	(89)
第一节	浅层平板载荷试验	(89)
第二节	深层平板载荷试验	(89)
第三节	岩基载荷试验	(90)
第四节	复合地基载荷试验	(91)
第八章	桩的承载力检测	(93)
第一节	单桩竖向抗压静载试验	(93)
第二节	单桩竖向抗拔静载试验	(115)
第三节	单桩水平静载试验	(121)
第四节	高应变法测试桩的承载力	(127)
第九章	桩身完整性检测	(138)
第一节	低应变法检测桩身完整性	(138)
第二节	高应变法检测桩身完整性	(149)
第三节	声波透射法检测桩身完整性	(151)
第十章	锚杆锁定力检测	(172)
	参考文献	(174)

第一篇

地基基础工程 基本知识



绪 论

桩是一种既古老又常见的基础形式,也是当前基础工程中一种普遍采用的重要基础形式。它采用一定的工艺和设备将具有较高强度的材料设置成柱体构件(见图 0-1(a))。当桩受竖向力 Q 作用时,根据牛顿第二定律,我们知道,若没有土阻力作用,桩就会以一定的加速度向受力方向运动。正是由于土阻力的作用,桩才处于平衡状态。土阻力包括桩侧摩擦阻力和桩端地基土阻力两部分,见图 0-1(b)。

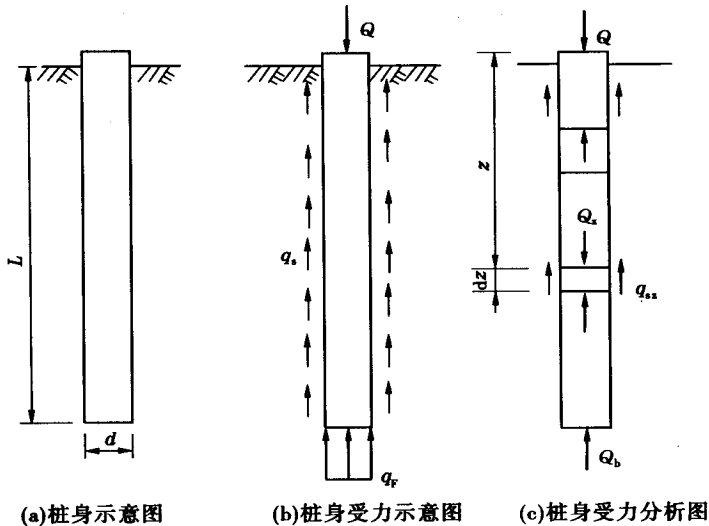


图 0-1 桩及受力图

图 0-1(c)显示了桩身受力状况,桩顶承受力为 Q 。设距桩顶 z 处的截面上的压力为 Q_z ,现考虑桩身上一个长为 dz 的小单元体。小单元体周围作用有桩土间的摩擦力 f_z 。由力的平衡条件可知,桩侧总摩擦力 Q_f 与桩端总阻力 Q_b 之和应等于桩顶轴向总力 Q ,即

$$Q = Q_f + Q_b \quad (0-1)$$

考虑桩身小单元的力的平衡条件,有

$$(Q_z + dQ_z) - Q_z + q_{s\alpha} u_p dz = 0 \quad (0-2)$$

由上式可得

$$q_s(z) = -\frac{dQ_z}{u_p dz} \quad (0-3)$$

式中 u_p ——桩的截面周长;

f_z ——单位面积桩土间的摩擦力;

Q_z ——桩截面上的压力(取为正号)。

设桩身材料是均匀的弹性体,其弹性模量为 E ,桩横截面面积为 A 。桩截面在 z 处

的沉降量 s_z 可表示为

$$s_z = s - \frac{1}{AE} \int_0^z Q_z dz \quad (0-4)$$

桩端沉降量 s_L 为

$$s_L = s - \frac{1}{AE} \int_0^L Q_z dz \quad (0-5)$$

式中 L ——桩身长度；

s ——桩顶沉降量。

以上为桩顶受向下竖向荷载作用下的力传递机理,其实质是桩土之间的相互作用过程。

一般情况下,当桩身相对桩周发生向下的位移时,则产生向上的正摩擦力。但有时出现相反的情况,土层相对桩身向下沉降,产生作用在桩侧面上的向下的负摩擦力。图 0-2 显示了在产生负摩擦力时荷载传递的情况。这里参考文献《工程地质手册》中负摩擦阻力的计算方法。

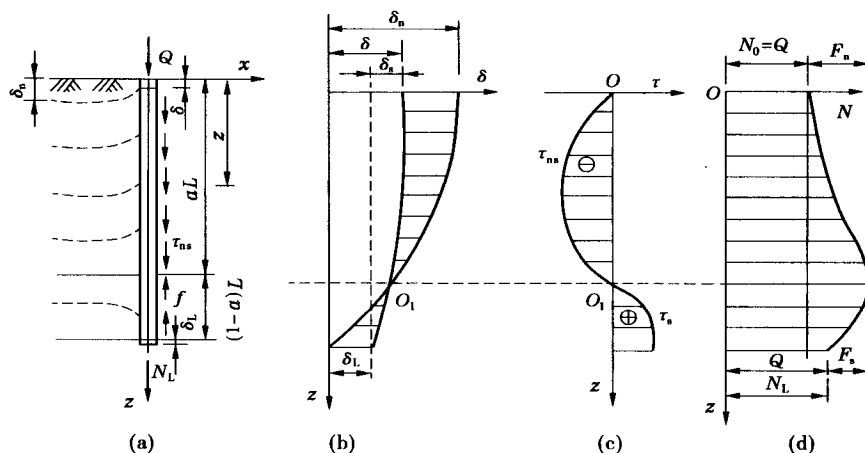


图 0-2 在产生负摩擦力时的荷载传递图

对于粘性土,负摩阻力根据室内无侧限抗压强度 q_u 值按下式计算

$$f_n = \frac{q_u}{2} \quad (0-6)$$

对于砂土,负摩阻力根据标准贯入试验按下式估算

$$f_n = \frac{N}{0.5} + 30 (\text{kPa}) \quad (0-7)$$

式中 f_n ——桩侧面单位负摩阻力, kPa;

q_u ——无侧限抗压强度, kPa;

N ——标贯击数。

由上述可见,无论是桩的竖直向下的荷载传递,还是在产生桩的负摩阻力时的荷载传递,以及人们所知道的桩的水平力作用时的荷载传递都与土的工程性质有关。作为一个桩基检测人员,了解土的有关知识是非常必要的,这也正是本教材中之所以编写基础知识部分的原因。

第一章 土的物理性质与工程分类

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系。其三相之间的比例关系、土的颗粒组成和大小、土的结构形式和构造等会直接影响到其工程性质。

第一节 土的组成

土与连续的固体物质不同,是一种松散颗粒堆积物,固体颗粒(固相)构成了土的骨架,水和气体为颗粒间孔隙的充填物。各相属性及三相关系对土的工程性质有重要的影响。

一、土的固相

(一)土的矿物成分

土是岩石风化的产物,土颗粒的矿物成分取决于成土母岩的成分和风化作用的类型。

土中矿物颗粒的成分根据形成条件可分为原生矿物和次生矿物,具体成分及特征见表 1-1。

表 1-1 土中矿物颗粒的成分

名称	成因	矿物成分	特征
原生矿物	岩浆在冷凝过程中形成	石英、长石、云母、角闪石、辉石等	原生矿物是母岩物理风化的产物,矿物成分与母岩相同,如漂石、卵石、圆砾等颗粒较粗,性质稳定,吸水能力很弱,无塑性
次生矿物	原生矿物进一步因氧化、水化、水解及溶解等化学风化作用后形成	高岭石、绿泥石、方解石、石膏等	颗粒极细,种类很多,以晶体矿物为主。如粘土矿物的基本构成单元为硅氧晶片和铝氢氧晶片。粘土矿物具有颗粒小、呈片状、比表面积大、吸水能力强、具塑性、性质活泼等特点

(二)土的构造

同一土层中的物质成分和颗粒大小等相近的各部分之间的相互关系特征称为土的构造。

土的构造类型见表 1-2。

表 1-2 土的构造类型

名称	特征	工程性质
层理构造	土在形成过程中,由于不同阶段所形成的沉积物在矿物成分、粒度成分、颜色等方面的差异表现出成层的特性	土的主要构造特征是层理构造
裂隙构造	裂隙性,如黄土中的垂直裂隙,某些坚硬或硬塑粘土(如长江下游的下蜀粘土)中有不连续小裂隙	裂隙的存在,破坏了土的整体性,增大了透水性,往往对工程建设不利
其他	在构造上还有一些特征,如某些土中含有结核(礞石)和天然土洞等	使得土质不均匀,往往对工程建设不利

(三)土粒大小和土的级配

1. 粒组划分

1) 定义

天然土是由无数大小不一、形状各异且变化悬殊的土粒组成。各种不同粒径的土粒在土中的比例不同,直接影响着土的性质。工程上通常把大小相近、性质相似的土粒划分成若干组,这种组别称为粒组。划分粒组的分界粒径称为界限粒径。

2) 粒组划分

按照界限粒径的大小,将土粒划分为六个粒组,分别为漂石(块石)、卵石(碎石)、砾粒、砂粒、粉粒、粘粒。

2. 土的级配

1) 定义

土的级配是指土中各粒组相对含量的组成。粒组的相对含量是通过颗粒分析试验测定的,土的颗粒分析试验主要有筛分析法和比重计法。

筛分析法适用于粒径大于 0.075 mm 的粗粒土,试验时取一定量的风干、分散土样放在一套标准筛(孔径为 2.0 mm、1.0 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.15 mm、0.075 mm)上振动一定时间后,称出留在各筛孔上土的质量,即可算得各个粒组的相对含量。

比重计法是根据 Stokes 原理,测定粒径小于 0.075 mm 的细粒土中各个粒组的相对含量。

通常两种试验方法需联合使用。

2) 土的级配曲线

颗粒分析试验的结果,可以绘制出如图 1-1 所示的级配曲线。其横坐标表示粒径,因为土粒粒径相差甚大,用普通坐标难以表示,常采用对数坐标。纵坐标表示小于某粒径土粒的百分含量。

土的级配曲线有两种用途,一是评价土的级配好坏并借此选择土料,二是利用级配曲线对粗粒土进行分类。

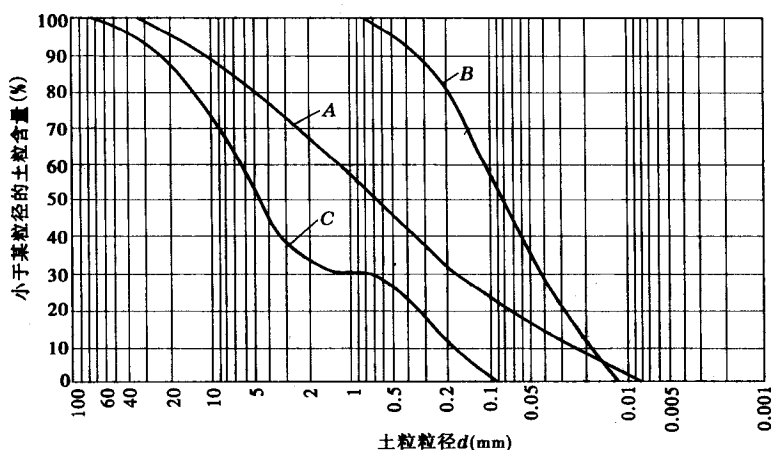


图 1-1 土的级配

不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 两个指标反映了土颗粒分布的均匀程度,其定义式为

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (1-2)$$

式中 d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} ——级配曲线上颗粒含量小于 10%、30% 和 60% 的粒径, mm。

工程上,将 d_{10} 称为有效粒径, d_{60} 称为控制粒径。

C_u 值愈大,表示级配曲线愈平缓,土粒粒径分布范围愈广,土粒愈不均匀,土愈易于被压实; C_u 值愈小,级配曲线愈陡峻,土粒粒径分布范围愈狭窄,土粒愈均匀,土愈不易被压实。

通常情况下,不均匀系数可以反映土的级配好坏,但无法反映土粒粒径的连续状况,如土中缺乏中间粒径,则级配曲线表现为台阶状(图 1-1 中 C 线),这时仅用不均匀系数来反映,就可能得出错误的结论。此时,曲率系数 C_c 能反映土中颗粒之间的搭配好坏情况。

$C_u \geq 5$ 时土的级配好坏需用不均匀系数和曲率系数共同加以判别,同时满足 $C_c = 1 \sim 3$ 的土,级配良好,用做填土用料,可得到较高的密实度;不能同时满足上述条件的土,称为级配不良的土。

二、土的液相

土中的水可以处于液态、固态和气态。当土中温度在零度以下时,土中水冻结成冰,形成冻土,其强度增大。但冻土融化后,强度急剧降低。土中气态水对土的性质影响不大。土中液态水可分为结合水和自由水。

(一) 结合水

1. 定义

粘土颗粒表面通常带负电荷,在土粒电场范围内,极性分子的水和水溶液中的阳离子

在静电引力作用下,被牢牢吸附在土颗粒周围,形成一层不能自由移动的水膜,这种水称为结合水。

2. 分类

在土粒形成的电场范围内,随着距离土颗粒表面的远近不同,水分子和水化离子的活动状态及表现性质也不相同。根据水分子受到静电引力作用的大小,结合水分为强结合水和弱结合水。

结合水在土中的含量主要取决于土的比表面积的大小。要理解水的相互作用关系,才能掌握土的工程性质。例如,粘土矿物的颗粒细,比表面积大,能大量吸附结合水。结合水使粒间透水的孔隙大为缩小,甚至充满,导致粘性土透水性差。另外,存在的结合水使颗粒互不接触,便具有滑移的可能;同时,相邻土粒间的结合水因受颗粒引力的吸附,使粒间具有一定的联结强度,所以粘性土又具有粘性和可塑性。

(二)自由水

自由水是指存在于土粒形成的电场范围以外能自由移动的水。和普通水相同,自由水有溶解能力,能传递静水压力。按自由水移动时所受作用力的不同,自由水可分为重力水和毛细水。

1. 重力水

重力水是指在重力或压力差作用下,能在土中自由流动的水。一般指地下水位以下的透水土层中的地下水。它对土粒有浮力作用。重力水直接影响土的应力状态。在地下水位以下施工,应注意建筑物的防渗要求和基坑(槽)开挖时采取降(排)水措施。

2. 毛细水

毛细水是指受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水。存在于地下水位以上的透土层中,毛细水上升高度对建筑物底层的防潮有重要影响。

当土孔隙中局部存在毛细水时,使土粒之间由于毛细压力互相靠近而压紧(见图 1-2),土因此会表现出微弱的凝聚力,称为毛细凝聚力。这种凝聚力的存在,使潮湿砂土能开挖成一定的高度,但干燥以后,就会松散坍塌。

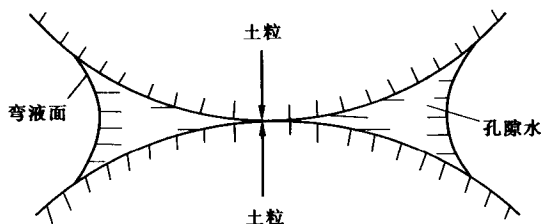


图 1-2 毛管水压力示意

三、土的气相

土中的气体存在于土孔隙中未被水占据的空间中。在粗粒的沉积物中与大气相连通的空气,在土受压时可较快逸出。它对土的力学性质影响不大。在细粒中则常存在与大气隔绝的封闭气泡,不易逸出;它在外力作用下具有弹性,并使土的透水性减小。在淤泥

等含有大量有机质的土中,由于微生物的活动,在土中分解产生了一些可燃气体,如甲烷、硫化氢等,使土层在自重作用下不易压密而形成高压缩性的软土层。

第二节 土的物理性质指标

土的三相组成比例关系,能直接反映土的状态和物理力学性质,间接反映土的工程性质。土的物理性质指标中,一种是可以通过试验直接测定,称为实测指标(试验指标);另一种是可通过实测指标进行推算的,称为换算指标,包括孔隙比、孔隙率、饱和度、饱和密度、有效密度和干密度等。

首先用土的三相图来表示土的组成,如图 1-3 所示。

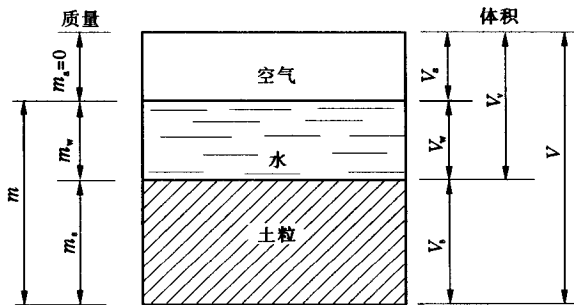


图 1-3 土的三相图

一、试验指标

(一) 土粒比重 G_s

土粒比重定义为土粒质量与同体积 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时纯水的质量的比值。土粒比重数值一般为 $2.6\sim 2.8$, 决定于土的矿物成分, 变化较小, 可参考表 1-3 取值。土粒比重常用比重瓶法测定, 土粒质量用天平测出, 土粒的体积就是土粒排开水的体积。

表 1-3 常见土粒的比重

土的名称	砂土	粉土	粘性土		有机质体	泥炭
			粉质粘土	粘土		
土粒比重	2.65~2.69	2.70~2.71	2.72~2.73	2.74~2.76	2.4~2.5	1.5~1.8

(二) 含水率 ω

土中水的质量与土粒质量的比值, 称为土的含水率, 以百分比计。天然土层的含水率变化范围很大, 含水率大小与土类、埋藏条件及所处的自然环境有关。含水率是标志土的湿度的一个重要物理指标。对于同一类土, 土的含水率高, 其力学性质就差。土颗粒愈粗, 含水率对土的性质的影响愈小。

土的含水率一般采用烘干法测定, 就是称取一定质量的试样, 放入烘箱内, 保持恒温 $105\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, 直至恒重后, 称取干土质量, 从而得出水和干土的质量, 两者的比值即为含

水率。对有机质含量超过 5% 的土,应将温度控制在 65~70 ℃ 的恒温下烘至恒重。

(三) 土的密度(土的重度)

土的密度定义为单位土体体积中土体的质量,土的密度也称为天然密度。工程中常用的重度 γ 与密度 ρ 的关系为: $\gamma = \rho g$ (下同)。 γ 的单位是 kN/m^3 ; ρ 的单位是 g/cm^3 ; g 是重力加速度, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, 为简便计算,工程中常取值 10 m/s^2 。土的密度常用环刀法测定,将一质量和体积都已知的环刀垂直切入土中,取出后,削平土样两端,测定土样的质量,即可求出土的密度。

二、换算指标

由于土所处的环境和状态不同,表示土单位体积质量的指标除天然密度 ρ 外,还有干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 和浮密度 ρ' 。

(一) 干密度 ρ_d

土的干密度定义为单位土体体积中土粒的质量。干密度的大小能反映土体的密实程度,工程中常以干密度作为填土夯实质量的控制指标。干密度常见数值为 $1.4 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 。

(二) 饱和密度 ρ_{sat}

饱和密度定义为土体孔隙中充满水时单位土体体积中土体的质量。饱和密度常见数值为 $1.8 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ 。

(三) 浮密度 ρ'

浮密度定义为单位土体体积中土粒质量与同体积水的质量之差。在地下水位以下,上粒受到水的浮力作用,单位体积中土粒的有效重力即土的浮重度,亦称土的有效重度。

(四) 孔隙比 e

孔隙比定义为土体中孔隙体积与土颗粒体积的比值,常以小数表示。孔隙比是反映土颗粒间紧密程度的指标之一,其数值愈小,说明土粒之间连结愈紧密;反之,则愈疏松。一般情况下, $e < 0.60$ 的土是密实的,压缩性小; $e > 1.0$ 的土是松散的,压缩性大。

(五) 孔隙率 n

孔隙率定义为土中孔隙的体积与土体总体积的比值,常以百分数表示。孔隙率也能反映土颗粒间的紧密程度。

(六) 饱和度 S_r

饱和度定义为土体孔隙中水的体积与孔隙体积之比,常以百分数表示。 $S_r \leq 50\%$ 稍湿, $50\% < S_r \leq 80\%$ 很湿, $S_r > 80\%$ 饱和。上述划分方法适用于中、粗砂。对于粉、细砂,只有当 $S_r > 90\%$ 时,才认为是饱和的。

三、指标间的相互换算关系

各物理性质指标都是量的相互比例关系。因此,就可以通过一些指标间相互比例关系进行计算,得到另一些指标。

(一) 孔隙比与三个试验指标间的换算关系

如图 1-3 所示,令 $V_s = 1$, 则 $V_v = e$, $V = 1 + e$, $m_s = \rho_w G_s$, $m_w = \omega \rho_w G_s$, $m =$