

城乡建设电视中专教材

地基与基础

沈克仁 江巧云 编



中国建筑工业出版社

城乡建设电视中专教材

地基与基础

沈克仁 江巧云 编

中国建筑工业出版社

本书为城乡建设电视中专土建类《建筑施工与管理》、《乡镇建设》专业教材。本书内容包括：土的物理性质和分类、地基土中应力、地基的变形、土的抗剪强度和地基承载力、土侧压力、工程地质勘察、浅基础设计、桩基础、挡土墙设计、地基处理、特殊土地基、地基基础的抗震及结合教学要求的土工试验指导书。

本书也可作为一般土建人员及土建类全日制中专学生学习参考。

城乡建设电视中专教材
地基与基础
沈克仁 江巧云 编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：14 $\frac{1}{4}$ 字数：347千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

印数：1—80,070册 定价：2.10元

ISBN7-112-00033-5/G·9

统一书号：15040·5344

目 录

绪论	1
一、地基与基础的概念	1
二、本课程的特点与学习要求	1
第一章 土的物理性质与分类	2
一、土的成因	2
二、土的组成与结构	3
三、土的物理性质指标	7
四、基本指标的测定	10
五、无粘性土的密实度	11
六、粘性土的物理特征	12
七、土的工程分类	14
第二章 地基土中应力	19
一、土中自重应力	19
二、基底压力	20
三、土中附加应力	24
第三章 地基的变形	33
一、土的压缩性	33
二、地基变形的类别	37
三、地基变形的计算	39
四、建筑物沉降观测	46
第四章 土的抗剪强度和地基承载力	49
一、土的抗剪强度	49
二、土的极限平衡条件	50
三、抗剪强度的测定	51
四、地基的塑性荷载及极限荷载	56
五、按《工业与民用建筑地基基础设计规范》确定地基承载力	61
第五章 土侧压力	70
一、土压力类型	70
二、库伦土压力理论	71
三、朗肯土压力理论	73
四、《工业与民用建筑地基基础设计规范》介绍的方法	76
五、特殊情况下的土压力计算方法	77
第六章 工程地质勘察	82
一、工程地质勘探方法	82
二、工程地质勘察报告	86
第七章 浅基础设计	91
一、浅基础类型	91

二、基础埋置深度.....96

三、基础底面积的确定.....98

四、刚性基础设计107

五、墙下钢筋混凝土条形基础103

六、柱下钢筋混凝土独立基础110

七、柱下钢筋混凝土条形基础119

八、柱下交梁基础124

九、筏板基础125

十、减少不均匀沉降的一般措施126

第八章 桩基础.....132

一、桩基础的分类132

二、单桩垂直承载力135

三、群桩139

四、桩承台142

五、桩基计算例题148

六、水平荷载作用下桩基的设计153

第九章 挡土墙设计153

一、挡土墙类型153

二、重力式挡土墙159

三、板桩墙168

第十章 地基处理173

一、压实173

二、换土177

三、挤密179

四、排水固结180

五、化学加固182

六、旋喷184

第十一章 特殊土地基187

一、软土地基187

二、湿陷性黄土地基188

三、膨胀土地基193

四、季节性冻土地基193

第十二章 地基基础的抗震201

一、地震概念201

二、地基的震害204

三、地基基础的抗震204

土工试验指导书207

【试验一】 土的重力密度、天然含水量、土粒相对密度（比重）试验207

一、重度试验207

二、天然含水量试验208

三、土粒相对密度（比重）试验209

【试验二】 土的液限、塑限试验211

一、液限试验211

二、塑限试验212

三、计算该土样的塑性指数 I_p ，并进行土的定名213

【试验三】 土的压缩试验213

一、常规压缩试验213

二、快速压缩试验216

【试验四】 土的抗剪强度试验218

一、直接剪切试验218

二、三轴剪切试验220

绪 论

一、地基与基础的概念

地基与基础是两个不同的概念。基础是建筑物的下部承重结构，是建筑物的重要组成部分。建筑物荷载通过基础传到地层，在地层中产生附加应力和变形，再通过土粒之间的接触与传递，向四周土中扩散并逐渐减弱。我们把地层中附加应力与变形所不能忽略的那部分土层（或岩层）称为地基（图0-1）。所以从工程观点说，地基是有一定深度与范围的。地基一般包括持力层与下卧层，埋置基础的土层称为持力层，在地基范围内持力层以下的土层称为下卧层，强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。基底下的附加应力较大，基础应埋置在良好的持力层上。

为了保证建筑物的安全，地基应满足两个基本要求：（1）地基应有足够的强度，在荷载作用后，地基土不被挤出，不致使建筑物失稳而破坏；（2）地基不能产生过大的变形，不致使建筑物产生过大的沉降或不均匀沉降而影响使用。

良好的地基一般具有较高的承载力与较低的压缩性，容易满足上述要求。软弱的地基，其工程性质就较差，必须进行地基处理。经过人工处理而达到设计要求的地基称为人工地基，这种地基随着建设的发展已被广泛利用。不需处理而直接利用的地基称为天然地基。建筑物应尽量建造在良好的天然地基上，以减少地基处理的费用。

基础设计必须根据地基条件进行，不能盲目套用，以免发生工程事故。勘察、设计、施工都必须提高质量，任何疏忽，都可能会导致建筑物的严重损坏。基础一旦发生事故，修补比较困难。所需的费用也较大。所以对地基基础问题要引起足够的重视。

基础设计必须根据地基条件进行，不能盲目套用，以免发生工程事故。勘察、设计、施工都必须提高质量，任何疏忽，都可能会导致建筑物的严重损坏。基础一旦发生事故，修补比较困难。所需的费用也较大。所以对地基基础问题要引起足够的重视。

二、本课程的特点与学习要求

地基与基础课程涉及到土力学、工程地质学以及结构设计与施工技术方面的内容，知识面广而综合性强。本课程应安排在施工技术课与钢筋混凝土结构课程之后进行。

通过本课程的学习，重点应掌握地基土的物理性质及土力学的基本知识，能阅读工程地质勘察资料，了解地基处理方法，能进行一般房屋的地基基础设计和施工。

由于我国土地辽阔，土质类型复杂，对于第十一章的特殊土地基，在教学时可根据地区特点有所选择。

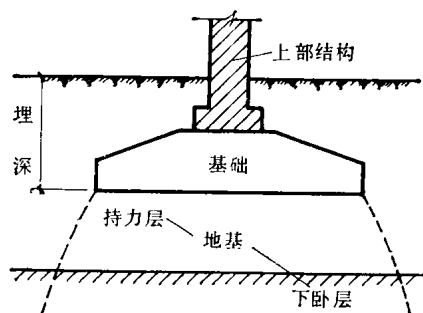


图 0-1 地基与基础示意

注：土力学是研究土的应力、变形、强度和稳定等力学问题的科学。

工程地质学是研究、评价与工程建设有关的地质问题的科学。

第一章 土的物理性质与分类

一、土的成因

土是岩石在长期风化作用下产生的大小不同的松散颗粒，经过各种地质作用而形成的沉积物。根据地质成因的条件不同而有以下几类土。

(一) 残积土：岩石经风化作用而残留在原地的碎屑堆积物。其成份与母岩相关，一般不具层理，土质不均，具有较大的孔隙（图1-1）。

(二) 坡积土：高处的风化物在雨水、雪水或本身的重力作用下搬运而成的山坡堆积物。厚度变化较大，在斜坡较陡处厚度较薄，坡脚处较厚。在山坡上的堆积物不稳定，易发生向下滑坡。新近堆积的坡积土具有较高的压缩性（图1-2）。

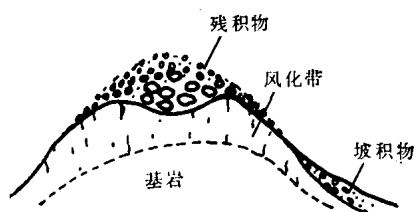


图 1-1 残积土

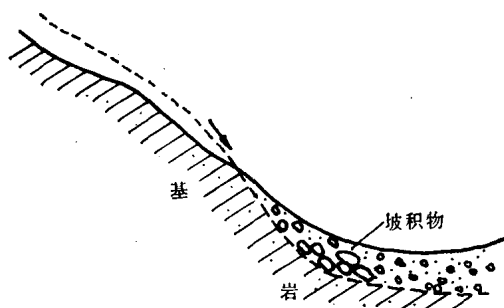


图 1-2 坡积土

(三) 洪积土：在山区或高地由暂时性洪流作用而形成的山前堆积物。分选作用明显，靠近山区或高地，土的颗粒较粗，远处则颗粒变细，但由于每次洪流的搬运能力不同，使洪积土具有不规则交错层理。近处颗粒较粗的洪积土强度高而压缩性较低（图1-3）。

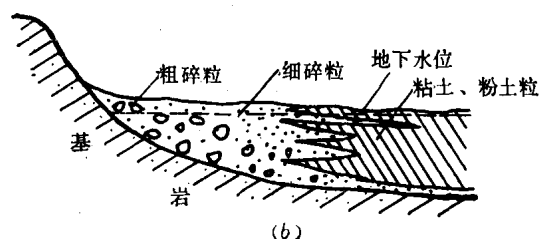
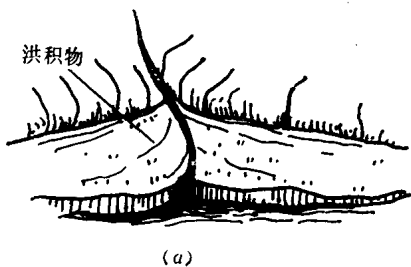


图 1-3 洪积土

(a) 洪积扇；(b) 洪积层剖面

(四) 冲积土：由河流流水的作用在平原河谷或山区河谷中形成的沉积物。颗粒在河流上游较粗，向下游逐渐变细，分选性和磨圆度均好，层理清楚，厚度较稳定(图1-4)。

(五) 淤积土：在静水或缓慢的水流作用下的沉积物。颗粒较细且含有机物质，土质松软，强度低，压缩性高。

(六) 冰积土：是由冰川或冰水作用形成的沉积物。颗粒大小不一，地基不均匀。

(七) 风积土：是由风力搬运形成的堆积物。颗粒小而均匀，孔隙大，结构松散。

上述各种堆积或沉积土，一般是在第四纪(Q)地质年代内形成的。也有自人类有了文化记载以后的新近沉积土，距今至少也有五千年。由于沉积年份不同，地质作用不同，岩石成份不同，使各种堆积或沉积土的工程性质就相差较大。

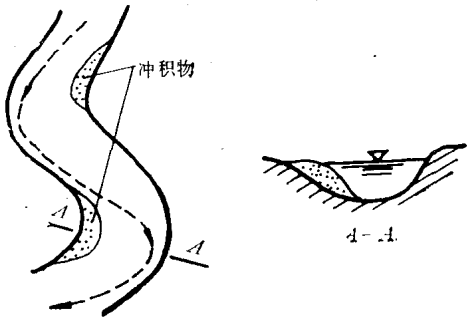


图 1-4 冲积土

二、土的组成与结构

任何一种土一般都是由三种物质组成：矿物颗粒(固相)、水(液相)、和空气(气相)。矿物颗粒是土的骨架，空气和水则填充孔隙。这种土具有三相，故称为三相体系。当孔隙完全被水充满时称为饱和土。当孔隙完全被气体充满时称为干土。饱和土和干土均属于二相体系。

(一) 矿物颗粒

矿物颗粒就是岩石经风化作用后形成的碎粒，粗大的土粒呈块状，细小的土粒呈片状或粉粒。土粒大小与矿物成分的不同，对土的物理力学性质有较大的影响。例如土的颗粒变细，可使土从无粘性变化到有粘性。因此将土粒进行分组，将物理力学性质较为接近的土粒划为同一粒组。

1. 粒组的划分

表1-1是一种常用的粒组划分方法，将土粒划分为漂石(块石)、卵石(碎石)、圆砾(角砾)、砂粒、粉粒及粘粒六大粒组。各组的界限粒径分别是200、20、2、0.074和0.005mm。

2. 土的颗粒分析

某种土的颗粒大小及组成可通过土的颗粒分析确定。对于粒径大于0.1mm的粗粒土可用筛分法。筛分法就是用一套不同孔径的标准筛(20, 10, 2, 0.5, 0.25, 0.10mm)称出留在各个筛子上的颗粒重量(图1-5)，并算出相应的重量百分比。表1-2为某土样的颗粒分析实例，根据分析结果很易确定土的分类名称。

土的颗粒分析结果除用表格表示外，还可用颗粒级配曲线表示(图1-6)。图中纵座标表示小于(或大于)某粒径的土重百分比，横座标表示粒径。由于粒径相差较大，故采用对数横座标表示。图中曲线a、b分别表示两种土样的颗粒分析结果。曲线平缓，表示粒径

土 粒 粒 组 的 划 分 表 1-1

粒 组 名 称	粒 径 (mm)	一 般 特 征
漂 石 或 块 石	>200	透水性很大, 无粘性, 无毛细水
卵 石 或 碎 石	200~20	透水性很大, 无粘性, 无毛细水
圆 砾 或 角 砾	20~2	透水性大, 无粘性, 毛细水上升高度不超过粒径大小
砂 粒	2~0.074	易透水, 当混入云母等杂质时透水性减小, 而压缩性增加; 无粘性, 遇水不膨胀, 干燥时松散; 毛细水上升高度不大, 随粒径变小而增大
粉 粒	0.074~0.005	透水性小; 湿时稍有粘性, 遇水膨胀小, 干时稍有收缩; 毛细水上升高度较大较快, 极易出现冻胀现象
粘 粒	<0.005	透水性很小; 湿时有粘性、可塑性, 遇水膨胀大, 干时收缩显著; 毛细水上升高度大, 但速度较慢

注: 漂石、卵石和圆砾有一定的磨圆形状; 块石、碎石和角砾有棱角。

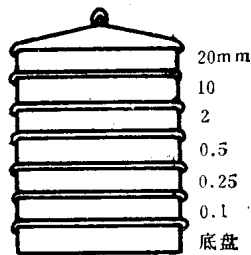


图 1-5 标准筛

筛 分 法 颗 粒 分 析 表 表 1-2

筛孔直径 (mm)	20	10	2	0.5	0.25	0.1	底盘 <0.1	总计
留筛土重 (g)	176	198	338	592	708	652	170	2834
占全部土重的百分比 (%)	6	7	12	21	25	23	6	100
大于某筛孔径的土重百分比 (%)	6	13	25	46	71	94		
小于某筛孔径的土重百分比 (%)	94	87	75	54	29	6		

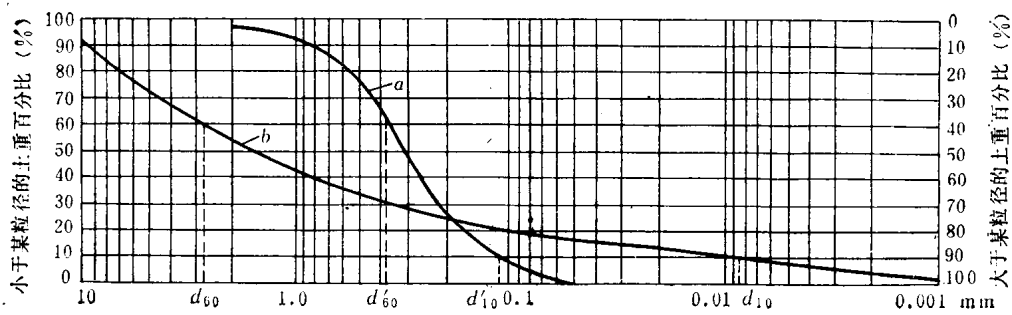


图 1-6 颗粒级配曲线

相差较大, 颗粒不均匀, 级配良好。曲线较陡, 表示粒径相差不大, 颗粒较均匀, 级配不好。级配良好的土较密实, 级配不好的土就不密实。曲线 b 较平缓, 故土样 b 的级配要比土样 a 为好。

工程上用不均匀系数 C_u 来反映颗粒组成的不均匀程度。

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

式中 d_{60} ——小于某粒径的土重百分比为60%时相应的粒径, 又称限定粒径;

d_{10} ——小于某粒径的土重百分比为10%时相应的粒径, 又称有效粒径。

把 $C_u < 5$ 的土看作级配均匀, $C_u > 10$ 的土看作级配良好。图1-6土样 a 的不均匀系数

$C_u = \frac{0.37}{0.11} = 3.36 < 5$, 级配不好。土样 b 的不均匀系数 $C_u = \frac{2.7}{0.0085} = 318 > 10$, 级配良好。

对于粒径小于0.1mm的细粒土是难以用筛分法测定的, 可采用吸管法或比重计法进行颗粒分析。

3. 土的矿物成分

对于漂石、卵石、圆砾等粗大土粒的矿物成分与原生矿物相同。矿粒大部分是原生矿物的单矿物颗粒, 如石英、长石、云母。粉粒的矿物成分是多样的, 主要有原生矿物的石英、次生矿物(岩石经化学风化作用形成的矿物)的难溶盐类(CaCO_3 、 MgCO_3)。粘土粒几乎都是次生矿物及腐殖质, 包括粘土矿物、氧化物与盐类等。其中粘土矿物又分为高岭土、伊利土、(水云母)和蒙脱土三种。高岭土是在酸性介质条件下形成的次生粘土矿物, 遇水后膨胀性与可塑性较小。蒙脱土遇水后具有极大的膨胀性与可塑性。伊利土的性质介于高岭土与蒙脱土之间, 比较接近蒙脱土。

(二) 土中水

水在土中的存在状态有液态水、气态水和固态水。

固态水是当温度低于 0°C 时水冻结成冰, 形成冻土, 土的强度增强。但解冻时土的强度迅速降低, 而且往往低于原来的强度。

气态水即是土中出现的水蒸气, 一般对土的性质影响不大。

液态水包括化学结合水、表面结合水及自由水。化学结合水是存在于土粒晶格结构内部的水, 可作为矿物颗粒的一部分。故液态水主要是指表面结合水和自由水两大类。

1. 表面结合水

矿物颗粒表面一般带负电荷, 能吸引水分子及水溶液中的游离阳离子(如 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 等)于土粒表面, 从而形成土粒周围的结合水膜。结合水膜分两层, 内层为固定层, 外层为扩散层。在固定层中的水因直接靠近土粒表面, 受到的吸力极大, 称为强结合水。强结合水的性质接近于固体, 有较大的抗剪强度。在 105°C 温度下将土烘干达恒重时, 才能将强结合水排除。粘土中仅含有强结合水时呈固体状态。砂土仅有较少的强结合水呈散粒状态。在扩散层中的水, 因受到土粒的吸力较小, 故称为弱结合水。其性质呈粘滞体状态, 在外界压力下可以挤压变形。弱结合水对粘性土的物理力学性质影响最大。砂土可认为不含弱结合水。

2. 自由水

自由水就是在结合水膜之外的水，有重力水和毛细水两种。重力水存在于地下水位以下的土孔隙中，只受重力作用而移动，能传递水压力和产生浮力作用。毛细水存在于地下水位以上的土孔隙中，在土粒之间形成环状弯液面（图1-8），弯液面与土粒接触处的表面张力反作用于土粒，形成毛细压力（或称毛细粘聚力），使土粒挤紧。土粒间的孔隙互相贯通，形成无数不规则的毛细管。在表面张力作用下，地下水沿着毛细管上升，上升高度在粘土约5~6m，在砂土中约2m以下，故在工程中要注意地基土的润湿、冻胀及基础的防潮。但在碎石土及粒径大于2mm的土中无此毛细现象。

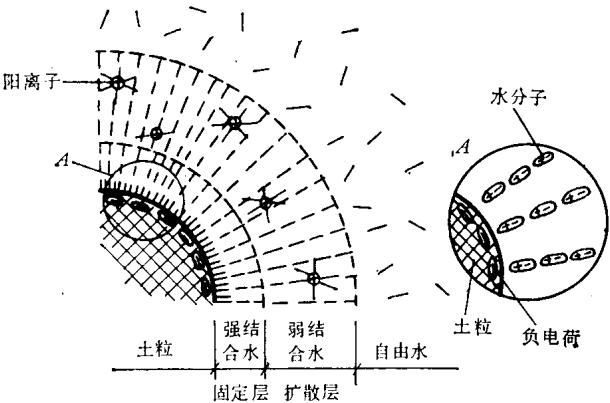


图 1-7 土粒与水分子的相互作用示意

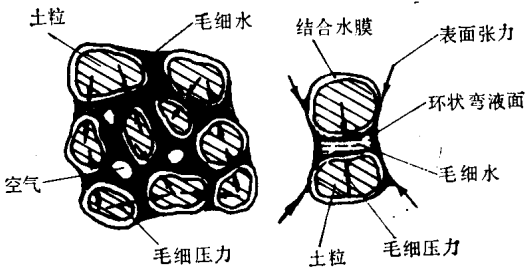


图 1-8 土粒间毛细水及毛细压力

（三）土中气体

粗粒土中的气体常与大气相通，在土受力变形时很快逸出。细粒土中的气体常与大气隔绝而成封闭气泡，在受压时气体体积缩小，卸荷后体积恢复，故土的弹性变形增加而透水性减少。含有机质的土，在土中分解出如甲烷、硫化氢等可燃气体，使土层在自重作用下长期得不到压密，形成高压缩性软土层。

土的结构主要是指土体中土粒的排列与连结。土的结构有单粒结构、蜂窝结构和絮絮结构三种（图1-9）。

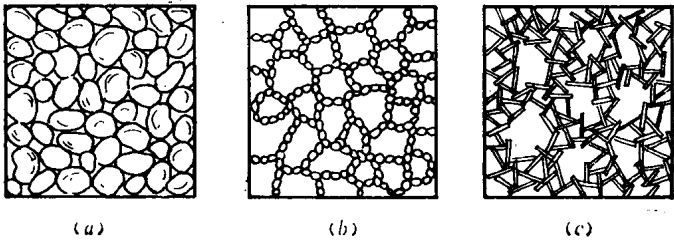


图 1-9 土的结构
(a) 单粒结构；(b) 蜂窝结构；(c) 絮絮结构

具有单粒结构的土由砂粒及更粗土粒组成，土粒之间只有微弱的毛细水连结，土**的强度主要来自土粒间的内摩擦力**。当土粒排列密实时，土的强度较大，当土粒疏松时，结构

不稳定，易变形。具有蜂窝结构的土是由粉粒串联而成。具有绒絮结构的土是由粘粒集合体串联而成。蜂窝结构及绒絮结构又称海绵结构，土中的孔隙较多，有较大的压缩性。在土质学中对具有海绵结构的土称为有结构性土。

三、土的物理性质指标

(一) 土的三相图

土的三相图表示气体、水、颗粒之间的数量关系，并可计算各物理性指标（图1-10）。设总体积 V 、颗粒体积 V_s 、水体积 V_w 、气体体积 V_a 、总重力 W 、颗粒重力 W_s 、水重力 W_w 、气体重力略去不计，则土的总体积与总重力分别为：

$$V = V_s + V_w + V_a = V_s + V_v \quad (\text{m}^3)$$

$$W = W_s + W_w \quad (\text{kN})$$

式中 $V_v = V_w + V_a$ 为土中空隙体积。

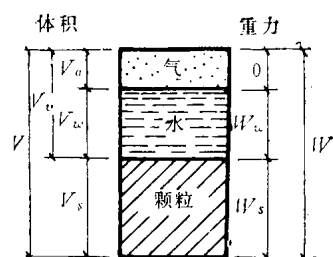


图 1-10 土的三相简图

(二) 土的基本物理指标

1. 土的重力密度 γ

土在天然状态时单位体积的重力称为重力密度，或称土的天然重度。

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + V_w \cdot \gamma_w}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-2)$$

式中 水的重力 $W_w = V_w \cdot \gamma_w$ ，水的重度 $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$ ，一般土的重度在 $16 \sim 20 \text{ kN/m}^3$ 。

2. 土粒比重 d_s

土粒重力与同体积的 4°C 时水的重力之比，称为土粒相对密度，也称土粒比重。

$$d_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (1-3)$$

注意比重是没有单位的，而重力密度是有单位的。土粒比重一般为 $2.6 \sim 2.8$ 。

3. 土的天然含水量 w

土中水的重力和土粒的重力之比称为含水量。用百分数表示：

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1-4)$$

上述基本指标 γ 、 d_s 、 w 由实验室测定，故又称实验指标。计算中 w 应以小数代入。

(三) 土的其他物理指标

工程上除基本指标外，还常用下列指标表示土的物理性质。

1. 饱和土的重力密度 γ_{sat}

土中孔隙 V_v 全被水充满时，单位体积的重力称为饱和土的重力密度，或称饱和土重度。

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \cdot \gamma_w}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-5)$$

2. 干土的重力密度 γ_d

土中无水时，单位体积的重力称为干土的重力密度，或称干土重度。

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-6)$$

3. 水下土的重力密度 γ'

在地下水位以下的土, 由于受到水的浮力作用, 使土的重力减轻, 土受到的浮力即等于同体积的水重力 $V\gamma_w$, 水下土单位体积的重力称为水下土的重力密度, 或称浮土重度。

$$\gamma' = \frac{W_s + V_v \cdot \gamma_w - V \cdot \gamma_w}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-7)$$

4. 土的孔隙率 n

土中孔隙体积与土的总体积之比称为孔隙率, 用百分数表示:

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

5. 土的孔隙比 e

土中孔隙体积与土粒体积之比称为孔隙比

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-9)$$

n 与 e 均反映土的密实程度, 一般 $e < 0.6$ 的土是密实的低压缩性土, $e > 1$ 的土是疏松的高压缩性土。

6. 土的饱和度 S_r

土中水的体积和孔隙体积之比称为饱和度, 用百分数表示:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-10)$$

S_r 反映土的潮湿程度, 如 $S_r = 100\%$, 土孔隙全部充水, 土为饱和状态。 $S_r = 0$, 土为完全干燥状态。

(四) 基本指标与其他指标的关系

土的 γ_m 、 γ_d 、 γ' 、 n 、 e 、 S_r 等指标均可由基本指标求得。为此可先对三相简图中的各符号进行变换。如假设土粒体积 $V_s = 1$, 则其他符号表示如下:

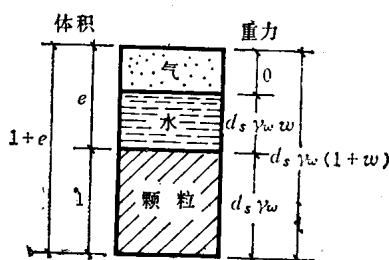


图 1-11 土的三相物理指标换算图

$$\text{土粒重力 } W_s = d_s \cdot V_s \cdot \gamma_w = d_s \cdot \gamma_w$$

$$\text{水重力 } W_w = w \cdot W_s = d_s \cdot \gamma_w \cdot w$$

$$\text{土总重力 } W = W_s + W_w = d_s \cdot \gamma_w (1 + w)$$

$$\text{水体积 } V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = d_s \cdot w$$

$$\text{土总体积 } V = \frac{W}{\gamma} = \frac{d_s \gamma_w (1+w)}{\gamma}$$

$$\text{孔隙体积 } V_v = V - V_s = \frac{d_s \cdot \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1$$

$$\text{或 } V_v = e \cdot V_s = e$$

$$\text{故总体积 } V = V_v + V_s = e + 1$$

有了上述的变换后, 便可根据各指标的定义求得换算公式。

$$\text{由式 (1-9) } e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{d_s \cdot \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1 \quad (1-11)$$

$$\text{由式 (1-5) } \gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \cdot \gamma_w}{V} = \frac{(d_s + e) \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad (1-12)$$

$$\text{由式 (1-6) } \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{d_s \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

$$\text{或 } \gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (1-13)$$

$$\text{由式 (1-7) } \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1 + e} \quad (1-14)$$

$$\text{由式 (1-8) } n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1 + e} \quad (1-15)$$

$$\text{或 } n = \frac{V_v}{V} = 1 - \frac{\gamma}{d_s \cdot \gamma_w (1 + w)}$$

$$\text{由式 (1-10) } S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{d_s \cdot w}{e} \quad (1-16)$$

【例1-1】某原状土样经测得土的天然重度 $\gamma = 18.62 \text{ kN/m}^3$, 土粒比重 $d_s = 2.69$, 天然含水量 $w = 29\%$, 试求土的孔隙比 e 、孔隙率 n 、饱和度 S_r 、饱和土重度 γ_{sat} 、干土重度 γ_d 、浮土重度 γ' 。

$$\begin{aligned} \text{【解】 孔隙比 } e &= \frac{d_s \cdot \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1 = \frac{2.69 \times 9.8(1+0.29)}{18.62} - 1 \\ &= 0.826 \end{aligned}$$

$$\text{孔隙率 } n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.826}{1+0.826} = 0.452 = 45.2\%$$

$$\text{饱和度 } S_r = \frac{d_s \cdot w}{e} = \frac{2.69 \times 0.29}{0.826} = 0.944 = 94.4\%$$

$$\text{饱和土重度 } \gamma_{sat} = \frac{(d_s + e) \gamma_w}{1 + e} = \frac{(2.69 + 0.826) 9.8}{1 + 0.826} = 18.87 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{干土重度 } \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{18.62}{1+0.29} = 14.43 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{浮土重度 } \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 18.87 - 9.8 = 9.07 \text{ kN/m}^3$$

四、基本指标的测定

(一) 土的重力密度 γ 的测定

土的重力密度测定常用环刀法。环刀为上下无底的圆环刀,内直径(D)60~80mm,高(h)20~30mm,体积 $100 \times 10^3 \text{ mm}^3$ 及 $60 \times 10^3 \text{ mm}^3$ 两种(图1-12)。操作时用环刀的刀刃切取土样,使土样充满环刀容积,环刀内土样重力与环刀容积之比即为土的重力密度

$$\gamma = \frac{W}{V}。$$

(二) 土粒比重 d_s 的测定

土粒比重测定常用比重瓶法(图1-13),取在 $100 \sim 105^\circ\text{C}$ 下烘至恒重时的土样重若干克 W_s ,放入比重瓶内。为排除土中空气,可加水煮沸,冷却后注满水称总重为 W_2 ,并测量瓶内水温 $t^\circ\text{C}$ 。再用同温度的比重瓶及水(注满)称总重为 W_1 ,则可得与干土同体积的水重为 $W_1 + W_s - W_2$,如测得 $t^\circ\text{C}$ 时水的重度 γ_{wt} (可查表),则可得体积 $V_s = \frac{W_1 + W_s - W_2}{\gamma_{wt}}$,于是土粒比重可由式(1-3)得:

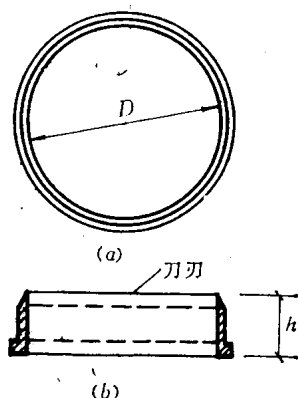


图 1-12 环刀
(a)平面; (b)剖面

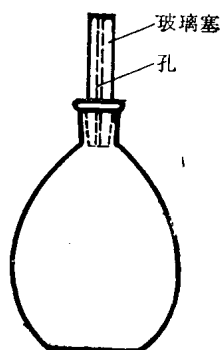


图 1-13 比重瓶

$$d_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{W_s}{W_1 + W_s - W_2} \cdot \frac{\gamma_{wt}}{\gamma_w}$$

式中 W_s ——烘干土重(g);

W_2 ——比重瓶及瓶内悬液总重(g);

W_1 ——与 W_2 同温度 $t^\circ\text{C}$ 时,比重瓶及瓶内水总重(g);

γ_{wt} —— $t^\circ\text{C}$ 时水的密度(g/cm^3);

γ_w —— 4°C 时水的密度(g/cm^3)。

(三) 土的天然含水量 w 的测定

土的含水量测定采用烘干法,将土样放入烘箱内,在温度 $100 \sim 105^\circ\text{C}$ 下烘到恒重,经冷却后称重。实验时也可用酒精烧干。由式(1-3)得含水量:

$$w = \frac{\bar{W} - W_s}{W_s} \times 100\%$$