

第一章 绪 论

第一节 地基基础的概念

地基和基础是建筑工程中两个不同而又联系密切的概念。对于任何建筑物来讲，它都是建造在一定的地层上，也就是建造在土层或岩石上面。建筑物荷载传递路线如图1-1所示。

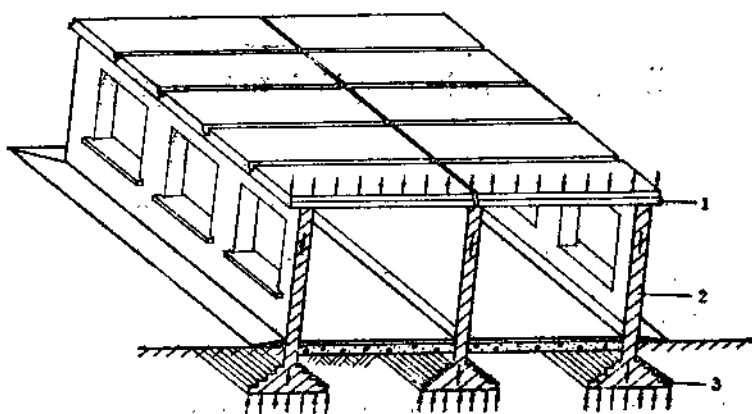


图1-1 建筑物荷载传递示意图
1-钢筋混凝土板式屋面 2-承重墙 3-基础

屋面荷载是由屋面板（屋架）传给承重墙（柱），再由承重墙（柱）传给建筑物的基础，加上建筑物自身材料的重量由基础传给与基础接触的土层或岩石上。对于较复杂型式的建筑物来讲，也类同这样的传力路线。

在建筑工程上，我们将建筑物埋入土层中的那部分称为基础，将基础下面承受建筑物全部荷载的土层称为地基。另外，我们将基础所埋置的土层称为持力层，持力层下基底荷载影响范围内的土层称为下卧层，其相互关系如图1-2所示。

基础是建筑物的一个主要组成部分，基础的强度直接关系到建筑物的安全与使用。而地基的承载力、压缩性、稳定性更直接影响到基础以至建筑物的安全、耐久性和正常使用。由此可知，正确解决地基基础问题是建筑工程中一项十分重要的工作。无论是在勘察、设计还是在施工中，都应严格执行《规范》中的规定，不得有一点马虎和疏忽。

在中外建筑历史上，有举不胜举的地基基础事故的例子，比较典型的有：

1. 举世闻名的意大利比萨斜塔，该塔由于建造在不均匀的高压缩性土上，致使塔基产生不均匀沉降，北侧下沉1米多，南侧下沉有3米，使塔身倾角达 5.8° 之多。

2.上海锦江饭店建在软土地基上,采用桩基础,由于未按设计桩数施工,造成大幅度沉降,建筑物的绝对沉降达2.6米,致使原底层陷入地下,成了半地下室,严重影响使用。

3.1958年1月30日南美洲巴西一座11层的大楼建成后还未使用,就在20秒钟内倒塌,经调查,其原因是地基土是沼泽土,因桩基础桩长不够,桩身悬浮在软土层中,致使承载力不足造成倒塌。

综上所述,为杜绝事故的发生,在地基基础设计中应使基础具有足够的强度,地基具有足够的承载力以及将变形值控制在规定的范围之内。

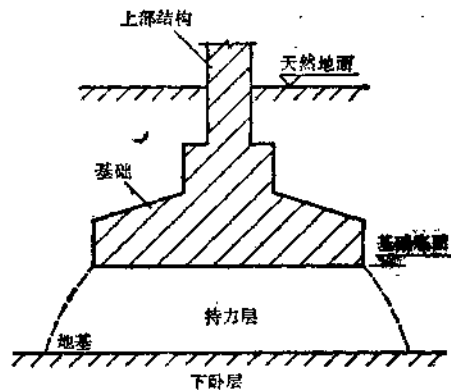


图1-2 地基基础示意图

第二节 地基基础课程的特点和学习要求

地基基础课是一门综合性很强的课程,它涉及到工程地质学、土力学、建筑材料、建筑结构、结构抗震和施工技术几个学科的基本知识。做为岗位职务培训教材,在学习本教材时,应掌握工程地质的基本知识,学会阅读,运用工程地质勘察资料,初步掌握勘察方法与评价分析方法,初步掌握地基基础的设计原理和步骤,以便能理解设计人员的设计意图,了解地基局部处理方法和人工地基的处理方法,了解地基基础震害及抗震构造措施。

地基基础课也是一门实践性很强的课程。由于地基土的种类繁多,土层分布又十分复杂,不均匀,借助地基原位测试和室内土工试验,是获得土层鉴定的重要方法。因此,学习本课程时,应掌握必要的试验方法和手段。另外,对工程地质勘察及验槽工作的现场参观教学也是学习中非常重要的一个环节。在有可能的情况下,读者都应动手做土工试验和参加现场观摩。

第二章 地基土的物理性质及分类

内容提要：本章简单介绍了土的成因与组成，重点介绍了土的物理性质指标及物理状态，并介绍了土在工程上的分类。

第一节 土的成因与组成

一、土的成因

在漫长的地质历史中，地球内部及它的外表形态都始终在运动变化。引起地球或地壳运动变化的作用称为地质作用。地质作用是由各种自然力产生的。按照自然力的能源不同，可将地质作用分为由内部能量引起的内力地质作用和由外部能量引起的外力地质作用。内力地质作用使地壳产生水平和垂直移动、断裂、岩浆喷出等运动。外力地质作用使地表岩层产生风化破碎、剥蚀、搬运、沉积等运动，这一作用使岩层上出现散状堆积物，这些散状堆积物就是土。

土的堆积成因很复杂，大致可分为：坡积土，即在高处风化了的土经雨水、雪水搬运或由自身重力作用堆积在斜坡或坡脚的土。残积土，即原岩表面经风化作用而残留在原地的土。洪积土，即山区或高地上的山洪急流将残积土，坡积土堆积在山谷中或山前平原上的土。冲积土，即河流在平缓地段所堆积下来的土。

我国建筑工程中所遇到的地基土，基本上是第四纪地质年代形成的。这一地质历史时期距今约有100万年，年代较近。一般来说沉积年代越长，上覆土层重量越大，土层就越密实，土的工程性质就越好。在大致相同的地质年代与相近的沉积条件下形成的土其成分及性质是比较相近的。

二、土的组成

在一般情况下，土是三相物质组成的。固相——矿物颗粒和有机质；液相——水溶液；气相——空气。矿物颗粒构成土的骨架，空气和水则填充骨架间的孔隙。不同的土的三相物质性质和其间的比例是不同的，因而，土的物理力学性质也各不相同。在特殊情况下，当孔隙完全被气体充满时，称为干土。当孔隙完全被水充满时称为饱和土。干土和饱和土属于二相体系。在建筑工程上，不同土的工程性质也不同。

(一)土的固相

土的固相主要是由大小不同，形状各异的各种矿物颗粒构成的，对有些土来讲，除矿物颗粒外还含有有机质。土的固体颗粒的大小和形状，矿物成分及组成情况对土的物

理力学性质有很大的影响。

1. 颗粒级配

自然界中的土都是由大小不同的土粒所组成。大颗粒和小颗粒在性质上并不相同。为了便于分析研究，可将土粒按其性质划分成若干粒组。见表2-1。表中列出了各个粒组的粒径范围和相应的特征。由表中看出，颗粒越小，与水的相互作用就越强烈。当土粒的粒径小于0.005毫米时，土粒遇水就出现粘性、可塑性、膨胀性等粗颗粒所不具有的诸种特性。

表2-1 土 粒 粒 组 的 划 分

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	2~0.075	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	0.075~0.005	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。

很显然，土中所含的各个粒组的相对含量不同，表现出来的土的性质也就不同。通常将粒组的相对含量（各粒组占土总重的百分比）称为颗粒级配。它是确定土的类别、土的定名及选用建筑材料的重要依据。

工程上常用的粒径分析法，有筛分法和比重计法两种。前者适用于粒径大于0.1毫米的土，后者适用于粒径小于0.1毫米的土。如土中同时含有大于和小于0.1毫米的土粒时，则两种方法并用。

颗粒分析的结果常用如图2-1所示的颗粒级配曲线表示。图中横坐标表示粒径，纵坐标表示小于某粒径的土层占土总重的百分比，利用此曲线可求得各粒组的相对含量。例如图2-1中的土样I砂粒组占土总重的 $(53.5-18)\%=35.5\%$ ，粉粒组占土总重的 $(18-7.5)\%=10.5\%$ 。同时，由曲线的坡度还可判定土的均匀程度。如曲线较平缓，则表示粒径大小相差悬殊，颗粒不均匀，土的级配良好；如曲线较陡峻，则表示粒径大小相近，颗粒均匀，土的级配不好。

在工程上常采用不均匀系数 C_u 来衡量土的级配。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2-1)$$

式中 d_{60} ——限定粒径，土中小于该粒径的颗粒占土粒总重的60%；

d_{10} ——有效粒径，土中小于该粒径的颗粒占土粒总重的10%。

C_u 越大，说明曲线越平缓，土粒越不均匀， C_u 越小，曲线越陡峻，土粒越均匀。工程上把 $C_u < 5$ 的土看成级配均匀的土； $5 \leq C_u \leq 10$ 的土看成级配中等均匀的土； $C_u > 10$ 的土看成级配良好的土，由于粗粒间的孔隙被细粒填充，孔隙较少，土较密实，这

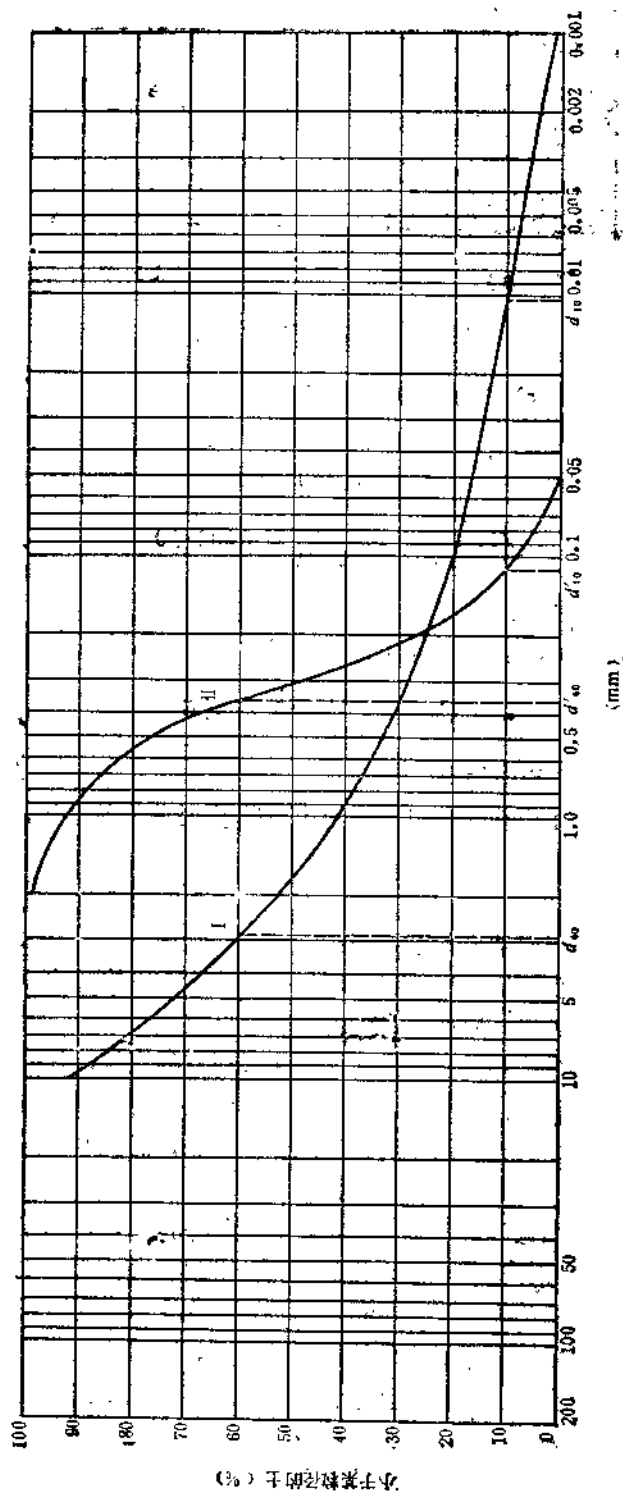


图 2-1 粒径级配曲线

样的土工程性质就好。图2-2为不同级配土的孔隙示意。

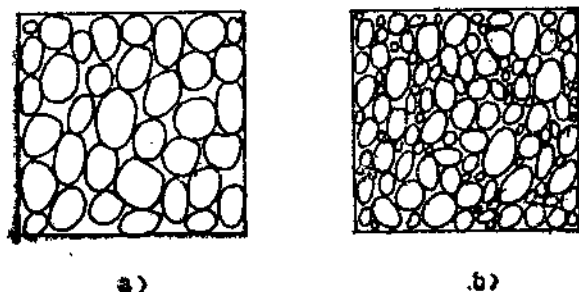


图2-2 不同级配土的孔隙

a) 土的级配均匀 b) 土的级配良好

〔例2-1〕分别计算图2-1中土样的不均匀系数，并判定属何种级配。

解：1. 土样 I，由图查得 $d_{60}=3$ ， $d_{10}=0.01$ 由不均匀系数公式：

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{3}{0.01} = 300 > 10$$

因 $Cu > 10$ ，故属级配良好的土。

2. 土样 II，由图查得 $d_{60}=0.36$ ， $d_{10}=0.11$

$$Cu = \frac{0.36}{0.11} = 3.27 < 5$$

因 $Cu < 5$ ，故属级配均匀的土。

由计算结果与图2-1中曲线可以明显看出当 Cu 大时曲线较平缓，当 Cu 小时曲线较陡峻。

2. 土粒的矿物成分

土的主要矿物大致可归纳成如下系统：

(1) 原生矿物 原生矿物是岩石经物理风化后破碎而成的颗粒，其母岩矿物成分不变，如石英、长石、云母等，原生矿物的性质较为稳定。

(2) 次生矿物 次生矿物是岩石经化学风化后而成的颗粒，其矿物成分经化学作用形成了新的矿物，如蒙脱土、伊利土、高岭土等。土粒中所含矿物成分不同，其性质也不同。如蒙脱土含量较多的粘粒遇水后会产生强烈膨胀，而失水后又会产生收缩，土的性质不稳定。

(3) 有机质 风化作用的进一步发展往往有生物作用参与，形成造壤，使土中增加了有机质成分。有机质成分视有机残余物的腐化分解程度可分为泥炭和腐殖质。有机残余物仅经低度分解时称为泥炭。当有机残余物已经完全分解时，就称为腐殖质。有机质都是亲水性的。土中的有机质对土的性质影响很大，可使土具有强烈的吸水性、可塑性、显著的膨胀性、过大的压缩性以及不良的渗透性等不利于工程的性质。

(二) 土的液相

土的三相组成中，液相主要是水。水分子具有很高的极性，而矿物颗粒特别是粘土矿物具有极为强烈的亲水性，所以，土中固体颗粒与水分子之间便产生了极其复杂的电

化学作用，致使水成为土的重要组成部分之一。

土中水可有不同的存在形态；其存在形态可分为3种，即固态的冰、气态的水蒸气及液态的水。水蒸气一般对土的性质影响不大，故不予讨论，冰对土的性质影响将在第九章中阐述，本章重点介绍液态水。

液态水可分为化学结合水、表面结合水及自由水。化学结合水是土的固体颗粒的组成部分，其对土性质的影响是通过矿物颗粒表现的，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，能吸引水分子溶液中的游离阳离子于土粒表面，从而形成土粒周围的结合水膜。结合水膜分两层，一层紧附于矿物表面上，受到吸力极大，称为强结合水（吸着水），强结合水的性质接近于固体具有极大的粘滞性、弹性和抗剪强度，受外力不转移，在105℃温度下可以蒸发掉。粘土中仅含强结合水时呈固体状态。砂土也能有很少一点强结合水，仅含强结合水时砂土呈散粒状态。另一层为扩散层，受到吸力较小，称为弱结合水（薄膜水），其性质呈粘滞状态，在外力作用下可以变形。弱结合水对粘性土的影响最大，砂土可认为不含弱结合水。

2. 自由水

自由水是结合水膜之外的水，自由水能够在重力作用下移动，也能在表面张力作用下移动。按其移动所受作用力的不同，也可分为重力水和毛细水两种。土中含有自由水时，可呈流动状态。

(三) 土中气相

土中空气构成土的气相，它存在于土中孔隙未被水所占据的地方。在粗粒土中常有与大气连通的自由气体，在土受力变形时能很快逸出，故一般不影响土的性质。在细粒土中常有与大气隔绝的封闭气体，土受压时，封闭气体体积压缩，卸荷后体积又恢复到原状，从而，土的弹性变形增加而透水性减少。

三、土的结构

土粒或土粒集合体的大小、形状、相互排列与连结等综合特征，称为土的结构，土的结构可分为单粒结构和海绵结构两大类。

由地层中取出的土样，如能保持原有的结构及含水量不变，在工程上则称为原状土。如土样的结构已受到人为的破坏或含水量发生变化，则称为扰动土。具有海绵结构的土称为有结构性土或结构土。粘性土是具有结构性的土，而砂土和碎石土则不具有结构性。对于结构性土的天然结构一旦被扰动破坏，其力学性质往往变差，压缩增大而强度降低。因此，对于结构性的土在取样试验和施工时，都应避免破坏其结构性，以免试验数据不准或降低土的强度。

第二节 土的物理性质指标

一、土的三相简图

土中三相比例指标，反映着土的不同的物理状态：稍湿或很湿、疏松或密实，这些指标是评定土的工程性质的重要依据。

在计算土的物理指标时，常采用三相简图来直观地表示它们之间的相互比例关系，如图2-3。

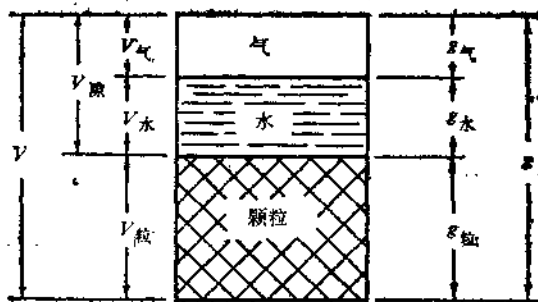


图2-3 土的三相简图

$g_{\text{气}}$ ——土中气体的重量 $g_{\text{水}}$ ——土中水的重量 $g_{\text{粒}}$ ——土中颗粒的重量 g ——土的总重量（千牛顿）
 $V_{\text{气}}$ ——土中气体所占体积 $V_{\text{水}}$ ——土中水所占体积 $V_{\text{隙}}$ ——土中孔隙所占体积 $V_{\text{粒}}$ ——土中颗粒所占体积 V ——土的总体积（米³）

由于土中气体的重量比其它两部分重量小得多，故通常忽略不计， $g_{\text{气}} = 0$ 。

（一）土的重力密度

在自然状态下，单位体积土的重量称为土的重力密度，也可简称为土的重度。

单位：千牛顿/米³（kN/m³）

$$\gamma = \frac{g}{V} \quad (2-2)$$

一般土的重度为16~20千牛顿①/米³，通常土的重度越大，土越密实。

（二）土的含水量

土中水的重量与颗粒重量之比的百分率为土的含水量。

$$w = \frac{g_{\text{水}}}{g_{\text{粒}}} 100\% \quad (2-3)$$

土的含水量表示土的湿度，含水量与湿度成正比，一般来说，含水量越高，土的工程性质就越差。含水量对粗粒土影响较小，对细粒土影响较大，尤其是对粘性土影响极大。随着含水量的增加，土的物理状态可由坚硬状态转变为可塑状态，甚至为流塑状态。

① 1千克力约等于10牛顿。

含水量的变化范围较大,一般来说,同类土,当其含水量增大时,则其强度就会降低。

(三)土的比重

土颗粒在绝对密实状态下单位体积的重量与水在4℃时的单位体积的重量 $\gamma_{\text{水}}$ 之比($\gamma=10$ 千牛顿/米³)。

$$d_s = \frac{g_{\text{粒}}}{V_{\text{粒}}} \times \frac{1}{\gamma_{\text{水}}} \quad (2-4)$$

一般土的比重为2.65~2.75;

以上3个物理指标是直接由实验方法确定的,通常叫做实验指标。已知这3个指标就可由三相比例关系公式导出下面一些指标。

(四)干土的重力密度

土的单位体积内土颗粒的重量为干土的重力密度,可简称为干土重度。

单位:千牛顿/米³ (kN/m³)

$$\gamma_d = \frac{g_{\text{粒}}}{V} \quad (2-5)$$

干土重度也可在已知土的重度和含水量时,可由下式计算:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (2-6)$$

工程上常以干土重度来控制土的夯实质量标准。如基础回填土在夯实后,其干土重度应达到15~16千牛顿/米³。

(五)土的饱和重力密度

土中孔隙完全被水充满时,单位体积的重量为土的饱和重力密度,简称饱和重度。

单位:千牛顿/米³ (kN/m³)

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{g_{\text{粒}} + V_{\text{隙}} \gamma_{\text{水}}}{V} \quad (2-7)$$

(六)土的浮重力密度

当土浸入水中时,单位体积的重量。简称浮重度。

单位:千牛顿/米³ (kN/m³)

$$\begin{aligned} \gamma' &= \frac{g_{\text{粒}} + V_{\text{隙}} \cdot \gamma_{\text{水}}}{V} - \frac{V \cdot \gamma_{\text{水}}}{V} \\ &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{水}} \end{aligned} \quad (2-8)$$

土浸入水中,受到水的浮力作用,土的有效重度应扣除浮力作用。

(七)土的孔隙比

土中孔隙体积与颗粒体积之比为土的孔隙比。

$$e = \frac{V_{\text{隙}}}{V_{\text{粒}}} \quad (2-9)$$

或

$$e = \frac{d_s \cdot \gamma_{\text{水}} (1+w)}{\gamma} - 1 \quad (2-10)$$

孔隙比是表示土的密实程度的一个物理指标,尤其对无粘性土,往往用其决定工程性质的好坏。一般天然状态的土,若 $e < 0.6$,可作为建筑物的良好地基。

(八)土的饱和度

①② 式中含水量 w 应以小数代入。

土中水的体积与孔隙体积之比的百分率为土的饱和度。

$$S_r = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{隙}}} \times 100 (\%) \quad (2-11)$$

或
$$S_r = \frac{w \cdot d_s}{e} \quad (2-12)$$

饱和度说明土的潮湿程度，如 $S_r = 100\%$ ，说明土孔隙内全部充水，土是完全饱和的。当 $S_r = 0$ 时，土则是完全干燥的。

粉，细砂的含水饱和程度，对其工程性质具有一定的影响，随饱和度的增加，粉，细砂土可由原微弱粘聚状态变为散粒状态。另外，在填土压实过程中，对于饱和土就不可能将其压实，其工程性质极差。在评价粉、细砂土时，除确定其密实度外，还应确定其饱和度。

土的三相物理性质指标常用换算公式，见表 2-2。

表2-2 土的三相物理指标常用换算公式

指标名称	符 号	表 达 式	单 位	换 算 公 式	备 注
重 度	γ	$\gamma = \frac{g}{V}$	kN/m^3	$\gamma = \frac{(d_s + S_r \cdot e) \gamma_{\text{水}}}{1 + e}$ $\gamma = \frac{d_s \gamma_{\text{水}} (1 + w)}{1 + e}$	由试验测定
比 重	d_s	$d_s = \frac{g_{\text{粒}}}{V_{\text{粒}} \gamma_{\text{水}}}$		$d_s = \frac{S_r e}{w}$	
含 水 量	w	$w = \frac{g_{\text{水}}}{g_{\text{粒}}} \times 100$	$\%$	$w = \frac{S_r e}{d_s} \times 100$ $w = \left(\frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 \right) \times 100$	
孔 隙 比	e	$e = \frac{V_{\text{隙}}}{V_{\text{粒}}}$		$e = \frac{d_s \gamma_{\text{水}} (1 + w)}{\gamma} - 1$ $e = \frac{d_s \gamma_{\text{水}}}{\gamma_d} - 1$	
饱 和 度	S_r	$S_r = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{隙}}} \times 100$	$\%$	$S_r = \frac{w d_s}{e} \times 100$	
干土重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{g_{\text{粒}}}{V}$	kN/m^3	$\gamma_d = \frac{d_s \gamma_{\text{水}}}{1 + e}$ $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$	
饱和重度	γ_{sat}	$\gamma_{\text{sat}} = \frac{g_{\text{粒}} + V_{\text{隙}} \cdot \gamma_{\text{水}}}{V}$	kN/m^3	$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(d_s + e) \gamma_{\text{水}}}{1 + e}$	
浮 重 度	γ'	$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{水}}$	kN/m^3	$\gamma' = \frac{(d_s - 1) \gamma_{\text{水}}}{1 + e}$	

注：换算公式中含水度和饱和度均用小数代入。

〔例 2-2〕某原状土样经试验测得重度 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ，比重 $d_s = 2.60$ ，含水

量 $\omega=27\%$ ，试求土的孔隙比 e ，饱和度 S_r ，干土重度 γ_s 。

解：按公式(2-10)求 e

$$\begin{aligned} e &= \frac{d_s \gamma_w (1 + \omega)}{\gamma} - 1 \\ &= \frac{2.6 \times 10 (1 + 0.27)}{18} - 1 \\ &= 0.83 \end{aligned}$$

按公式(2-12)求 S_r

$$\begin{aligned} S_r &= \frac{d_s \omega}{e} \times 100 = \frac{2.6 \times 0.27}{0.83} \times 100 \\ &= 85\% \end{aligned}$$

按公式(2-6)求 γ_s

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{18}{1 + 0.27} = 14.2 \text{ kN/m}^3$$

〔例2-3〕上述指标也可利用三相图进行计算，见图2-4。

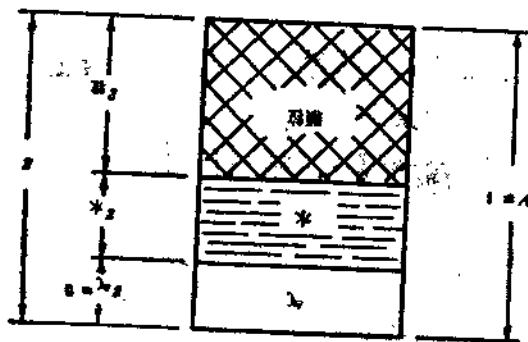


图2-4 (例2-3)附图

解：从式(2-2) $\gamma = \frac{g}{V}$ 入手，先设 $V=1$

$$g = \gamma \cdot V = 18 \text{ kN}$$

按含水量的定义，由式(2-3)

$$g_w = w g_s = 0.27 g_s$$

按三相图2-4

$$g_w + g_s = g$$

$$\text{则 } 0.27 g_s + g_s = 18$$

$$\text{故 } g_s = \frac{18}{1.27} = 14.2 \text{ kN}$$

$$g_w = g - g_s = 18 - 14.2 = 3.8 \text{ kN}$$

$$\text{按比重定义式(2-4), } d_s = \frac{g_s}{V_s} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$$

$$V_{\text{粒}} = \frac{g_{\text{粒}}}{d_s} \cdot \frac{1}{\gamma_{\text{水}}} = \frac{14.2}{2.6 \times 10} = 0.546 \text{ m}^3$$

$$\text{按水的重度定义 } \gamma_{\text{水}} = \frac{g_{\text{水}}}{V_{\text{水}}}$$

$$V_{\text{水}} = \frac{g_{\text{水}}}{\gamma_{\text{水}}} = \frac{3.8}{10} = 0.38 \text{ m}^3$$

$$\text{因为 } V_{\text{气}} = V - (V_{\text{粒}} + V_{\text{水}}) = 1 - (0.546 + 0.38) \\ = 0.074 \text{ m}^3;$$

$$\text{则 } V_{\text{隙}} = V_{\text{水}} + V_{\text{气}} = 0.38 + 0.074 = 0.454 \text{ m}^3$$

可由定义得:

$$e = \frac{V_{\text{隙}}}{V_{\text{粒}}} = \frac{0.454}{0.546} = 0.83;$$

$$S_r = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{隙}}} \times 100 = \frac{0.38 \times 100}{0.454} = 84\%$$

$$\gamma_s = \frac{g_{\text{粒}}}{V} = \frac{14.2}{1} = 14.2 \text{ kN/m}^3$$

第三节 粘性土、砂土与粉土

一、粘性土

含水量对粘性土所处状态影响很大, 随含水量的增减, 粘性土可以从一个状态变化为另一个状态, 粘性土由某一状态转入另一状态时所具有的含水量称为土的分界含水量。粘性土的物理状态与含水量的关系见图2-5。

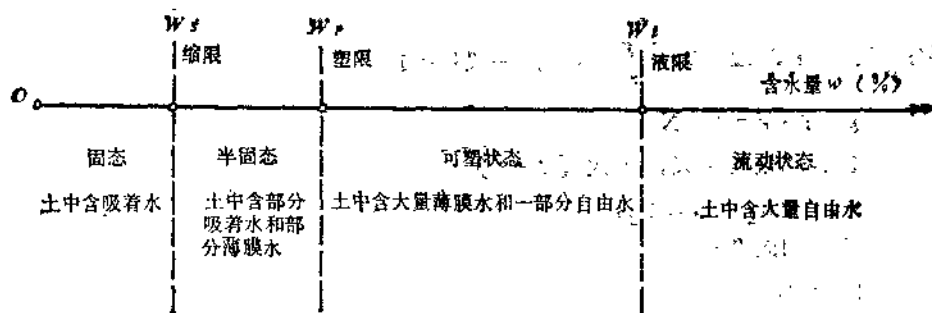


图 2-5 粘性土的物理状态与含水量的关系

粘性土的主要物理特征如下:

(一) 塑限

当土由半固体状态变化到塑性状态时的分界含水量叫做塑限, 用 w_p (%) 表示, 粘性土的塑限可用搓条法测定。

(二)液限

当土由塑性状态变化到流动状态时的分界含水量叫做液限,用 ω_L (%)表示。

粘性土的液限可用锥式液限仪测定。

(三)塑性指数

液限与塑限之差叫做塑性指数,用 I_p 表示。

$$I_p = \omega_L - \omega_p \quad (2-13)$$

塑性指数反映了土的可塑范围,土中粘粒含量、土粒的矿物成分、土中薄膜水多少等几方面因素都影响塑性指数,塑性指数越高,表示土中细粒含量增多,土的粘性与可塑性越好。工程上用塑性指数来判定土的种类,是粘土、粉质粘土还是粉土。

(四)液性指数

天然含水量与塑限之差除以塑性指数叫做液性指数,用 I_L 表示。

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{I_p} \quad (2-14)$$

液性指数反映了粘性土的软硬程度。

(五)灵敏度

粘性土是具有海绵结构的土,当其天然结构被破坏后,土的压缩性增大而强度也随之降低。天然结构破坏前后的抗压强度的比值称为灵敏度,故土的灵敏度是用以表示土的结构性的指标,用 S_r 表示。

$$S_r = \frac{q_u}{q_0} \quad (2-15)$$

式中 q_u ——原状土的无侧限抗压强度

q_0 ——具有与原状土同比重和含水量,但结构完全被破坏的土(即重塑土)的无侧限抗压强度

土的灵敏度划分见表2-3。

表2-3 土的灵敏度

低 灵 敏 度	中 灵 敏 度	高 灵 敏 度
$1 < S_r \leq 2$	$2 < S_r \leq 4$	$S_r > 4$

土的灵敏度越高,则土的结构性越强,扰动后土的强度降低越多,故对于高灵敏度的土做为基础的持力层时,在进行基坑、基槽开挖的施工时需特别注意,严禁超挖,以保证其结构不受扰动。

二、砂 土

砂土的成分中缺少粘土矿物,它是无粘性的松散体。天然条件下的砂土处在从紧密到松散的不同物理状态下,松散砂土的压缩性与透水性较高,而其强度与稳定性较低,密实的砂土则反之,是良好的天然地基,所以,密实度是衡量砂土的最重要的指标。

评定砂土的密实度常采用孔隙比 e 、相对密实度 D_r 及标准贯入 N_{60} 的锤击数等

指标。

三、粉 土

粉土的性质介于粘性土和砂土之间。

对于塑性指数 $I_p \leq 10$ 的低塑性土，在有关试验资料中证明，该种土具有粉粒土的特征。其比表面^②不大，毛细作用增强，土的力学性质受内摩擦角影响较大，而受粘聚力影响较小，液限、塑限试验对该土已不再适用，和粘性土有较大的区别，故将该种土单独划分为粉土。

第四节 地基土的分类及物理状态

在《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-88) ^③中，将建筑地基分成6大类：岩石、碎石土、砂土、粉土、粘性土和人工填土。

一、岩 石

颗粒间牢固联结，呈整体或具有节理裂隙的岩体。按坚固性可划分为硬质岩石和软质岩石，见表2-4。按风化程度可分为微风化、中等风化和强风化，见表2-5。

表2-4 岩石坚固性的划分

岩石类别	代 表 性 岩 石
硬质岩石	花岗岩、花岗片麻岩、闪长岩、玄武岩、石灰岩、石英砂岩、石英岩、硅质麻岩等
软质岩石	页岩、粘土岩、绿泥片岩、云母片岩等

注：除表列代表性岩石外，凡新鲜岩石的饱和单轴极限抗压强度大于或等于 30N/mm^2 者，可按硬质岩石考虑；小于 30N/mm^2 者，可按软质岩石考虑。

表2-5 岩石风化程度的划分

风 化 程 度	特 征
微 风 化	岩质新鲜，表面稍有风化迹象
中 等 风 化	1. 结构和构造层理清晰 2. 岩体被节理、裂隙分割成块状(200~500mm)，裂隙中填充少量风化物。锤击声脆，且不易击碎 3. 用镐难挖掘，岩芯钻方可钻进
强 风 化	1. 结构和构造层理不甚清晰，矿物成分已显著变化 2. 岩体被节理、裂隙分割成碎石状(20~200mm)，碎石用手可以折断 3. 用镐可以挖掘，手摇钻不易钻进

① 标准贯入试验详见第七章。 ② 颗粒表面积与其体积之比。 ③ 以下简称《规范》。

二、碎石土

粒径大于2毫米的颗粒含量超过全重50%的土。根据粒组含量及颗粒形状可按表2-6分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾。其物理状态见表2-7。

表2-6 碎石土分类

土的名称	颗粒形状	粒组含量
漂石 块石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于200mm的颗粒超过全重50%
卵石 碎石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于20mm的颗粒超过全重50%
圆砾 角砾	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于2mm的颗粒超过全重50%

注：定名时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

(续)

表2-7 碎石土密实度野外鉴别方法

密实度	骨架颗粒含量和排列	可挖性	可粘性
密实	骨架颗粒含量大于总重的70%，呈交错排列，连续接触	锹镐挖掘困难，用撬棍方能松动 井壁一般较稳定	钻进极困难 冲击钻探时，钻杆吊锤跳动剧烈 孔壁较稳定
中密	骨架颗粒含量等于总重的60~70%，呈交错排列，大部分接触	锹镐可挖掘 井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒处，能保持颗粒四面形状	钻进较困难 冲击钻探时，钻杆、吊锤跳动不剧烈 孔壁有坍塌现象
稍密	骨架颗粒含量小于总重的60%，排列混乱，大部分不接触	锹可以挖掘 井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，砂性土立即坍落	钻进较容易 冲击钻探时，钻杆稍有跳动 孔壁易坍塌

注：1. 骨架颗粒系指与表2-6相对应粒径的颗粒。

2. 碎石土的密实度，应按表列各项要求综合确定。

三、砂 土

粒径大于2毫米的颗粒含量不超过全重的50%，粒径大于0.075毫米的颗粒超过全重50%的土，根据粒组含量按表2-8分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂，其物理状态见表2-9、表2-10、表2-11、表2-12。

表2-8 砂土分类

土 的 名 称	粒 组 含 量
砾 砂	粒径大于 2 mm 的颗粒占全重 25~50%
粗 砂	粒径大于 0.5 mm 的颗粒超过全重 50%
中 砂	粒径大于 0.25 mm 的颗粒超过全重 50%
细 砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒超过全重 85%
粉 砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒超过全重 50%

注：定名时应根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

表2-9 砂土的密实度

土 的 名 称	密 实	中 密	稍 密	松 散
砾砂、粗砂、中砂	$e < 0.60$	$0.60 \leq e \leq 0.75$	$0.75 < e \leq 0.85$	$e > 0.85$
细砂、粉砂	$e < 0.70$	$0.70 \leq e \leq 0.85$	$0.85 < e \leq 0.95$	$e > 0.95$

砂土的相对密实度考虑了砂土的孔隙及级配因素，用下式计算：

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (2-16)$$

式中 e_{max} ——土在最松散状态时的孔隙比即最大孔隙比

e_{min} ——土在最密实状态时的孔隙比即最小孔隙比

e ——砂土的天然孔隙比

表2-10 砂土的相对密实度

密 实	中 密	松 散
$1 \geq D_r > 0.67$	$0.67 \geq D_r > 0.33$	$0.33 \geq D_r > 0$

表2-11 砂土根据标准贯入度试验锤击数 $N_{63.5}$ 判定的密实度

松 散	稍 密	中 密	密 实
$N_{63.5} \leq 10$	$10 < N_{63.5} \leq 15$	$15 < N_{63.5} \leq 30$	$N_{63.5} > 30$

表2-12 砂土的湿度

稍 湿	很 湿	饱 和
$S_v \leq 50\%$	$50\% < S_v \leq 80\%$	$S_v > 80\%$

四、粘性土

塑性指数 I_p 大于10的土为粘性土。

(一)一般粘性土

按表2-13分为粘土、粉质粘土。其物理状态见表2-14。

表2-13 粘性土按塑性指数 I_p 分类

粉 质 粘 土	粘 土
$10 < I_p \leq 17$	$I_p > 17$

表2-14 粘性土的坚硬程度

坚 硬	硬 塑	可 塑	软 塑	流 塑
$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

(二)淤泥和淤泥质土

在静水或缓慢的流水环境中沉积，经生物化学作用形成，天然含水量 ω 大于液限 ω_L ，天然孔隙比 e 大于1.5的粘性土称为淤泥。而当天然孔隙比 e 小于1.5但大于等于1.0时称为淤泥质土。

(三)红粘土和次生红粘土

北纬33度以南，碳酸盐岩系出露区的岩石，经红土化作用形成的棕红、褐黄等色的高塑性粘土称为红粘土。其液限 ω_L 一般大于50，上硬下软，具明显的收缩性，裂隙发育。

经再搬运后仍保留红粘土基本特征，液限 ω_L 大于45的土称为次生红粘土。

五、粉 土

塑性指数 I_p 小于或等于10，粒径大于0.075毫米的颗粒量不超过全重50%的土为粉土，其性质介于砂土与粘性土之间。其密实度见表2-15，其湿度见表2-16。

表2-15 粉土的密实度

密 实	中 密	稍 密
$e < 0.7$	$0.7 \leq e < 0.85$	$0.85 \leq e$