

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套用书  
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材配套用书

# 土力学及基础工程学习指导 (第二版)

配套主教材《土力学》《基础工程》(第四版)

莫海鸿 杨小平 刘叔灼 编著

中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套用书  
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材配套用书

# 土力学及基础工程学习指导

(第二版)

配套主教材《土力学》《基础工程》(第四版)

莫海鸿 杨小平 刘叔灼 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

土力学及基础工程学习指导/莫海鸿等编著. —2 版. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2019. 4

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套用书 高校  
土木工程专业指导委员会规划推荐教材配套用书

ISBN 978-7-112-23307-6

I. ①土… II. ①莫… III. ①土力学-高等学校-教学参考  
资料②基础(工程)-高等学校-教学参考资料 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 027428 号

本书以例题和习题的形式诠释土木工程专业土力学及基础工程课程的基本内容, 教材主要依据中国建筑工业出版社出版的《土力学》(东南大学等四校编) 和《基础工程》(华南理工大学等三校编), 亦参考了一些其他教材。本书主要内容包括: 土的物理性质及分类、土的渗透性及渗流、土中应力、土的压缩性及固结理论、地基沉降、土的抗剪强度、土压力、地基承载力、土坡稳定性、浅基础、桩基础。每章都由学习要点、例题精解、习题和参考答案四部分构成。

本书可供土木工程专业本科或者专科学生和工程技术人员学习土力学和基础工程课程使用。

责任编辑: 吉万旺 王 跃

责任校对: 芦欣甜

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套用书  
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材配套用书

### 土力学及基础工程学习指导 (第二版)

配套主教材《土力学》《基础工程》(第四版)

莫海鸿 杨小平 刘叔灼 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

天津翔远印刷有限公司印刷

\*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 13 1/2 字数: 325 千字

2019 年 6 月第二版 2019 年 6 月第七次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-23307-6

(33608)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 第 二 版 前 言

本书自 2006 年第一次印刷以来，相关规范和标准都已作了修订，《土力学》和《基础工程》教材也出了新的版本，因此本书第二版修订的重点在于使内容表述与现行的规范、标准及新版教材一致，同时对少数题意不清的习题进行了修改，对个别印刷错误进行了纠正。

本书自出版以来，许多师生提供了宝贵的修订意见，在此一并表示十分感谢。

本书由华南理工大学土木工程系莫海鸿、杨小平和刘叔灼编著。

## 第一版前言

本书重点围绕本科课堂教学内容编写，教材主要依据中国建筑工业出版社出版的《土力学》（东南大学等四校编）和《基础工程》（华南理工大学等三校编），亦参考了其他一些教材。本书共分四部分，第一部分为学习要点，是对重点内容的归纳与提炼；第二部分为例题精解，除了对上述两本教材的习题给出详细的解题过程外，还精选了许多典型的例题；第三部分为习题，针对第一部分的学习要点，作者编写了大量的选择题、判断改错题和计算题，有些章的习题分为两部分，一部分为基本题，属于本科生应该掌握的内容，另一部分包含有研究生入学试题，难度较大，可供考研复习之用；第四部分为习题参考答案。

本书由华南理工大学土木工程系莫海鸿、杨小平和刘叔灼编著。在编写过程中，本书参考和引用了其他教材和习题集中的一些习题及解答，在此向原作者表示深深的谢意。

限于编者的水平，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                |     |
|----------------|-----|
| 第1章 土的物理性质及分类  | 1   |
| 一、学习要点         | 1   |
| 二、例题精解         | 7   |
| 三、习题           | 10  |
| 四、习题参考答案       | 13  |
| 第2章 土的渗透性及渗流   | 16  |
| 一、学习要点         | 16  |
| 二、例题精解         | 19  |
| 三、习题           | 22  |
| 四、习题参考答案       | 24  |
| 第3章 土中应力       | 26  |
| 一、学习要点         | 26  |
| 二、例题精解         | 33  |
| 三、习题           | 38  |
| 四、习题参考答案       | 42  |
| 第4章 土的压缩性及固结理论 | 47  |
| 一、学习要点         | 47  |
| 二、例题精解         | 51  |
| 三、习题           | 53  |
| 四、习题参考答案       | 56  |
| 第5章 地基沉降       | 58  |
| 一、学习要点         | 58  |
| 二、例题精解         | 65  |
| 三、习题           | 72  |
| 四、习题参考答案       | 77  |
| 第6章 土的抗剪强度     | 84  |
| 一、学习要点         | 84  |
| 二、例题精解         | 89  |
| 三、习题           | 94  |
| 四、习题参考答案       | 98  |
| 第7章 土压力        | 104 |
| 一、学习要点         | 104 |
| 二、例题精解         | 108 |

三、习题 ..... 114

四、习题参考答案 ..... 117

**第 8 章 地基承载力**..... 122

一、学习要点 ..... 122

二、例题精解 ..... 124

三、习题 ..... 126

四、习题参考答案 ..... 129

**第 9 章 土坡稳定性**..... 132

一、学习要点 ..... 132

二、例题精解 ..... 135

三、习题 ..... 138

四、习题参考答案 ..... 139

**第 10 章 浅基础** ..... 141

一、学习要点 ..... 141

二、例题精解 ..... 161

三、习题..... 178

四、习题参考答案 ..... 184

**第 11 章 桩基础** ..... 187

一、学习要点 ..... 187

二、例题精解 ..... 199

三、习题..... 203

四、习题参考答案 ..... 206

**参考文献**..... 208

# 第 1 章 土的物理性质及分类

## 一、学习要点

### 1. 概述

◆土是由连续、坚固的岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒，经过不同的搬运方式，在各种自然环境中生成的没有黏结或弱黏结的沉积物。土经历压缩固结、胶结硬化，也可再生成岩石。

◆土按成因类型可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖积土、海积土、风积土、冰积土和污染土等。

◆土是由颗粒（固相）、水（液相）和气（气相）所组成的三相体系。各相的性质及相对含量的大小直接影响土体的性质。

### 2. 土的组成

#### ◆土中固体颗粒

土粒大小及其矿物成分的不同，对土的物理力学性质影响极大。当土粒粒径由粗到细逐渐变化时，无黏性且透水性强的土就逐渐变为透水性弱、具有黏性和可塑性的土。

土粒的大小称为粒度，通常以粒径表示。介于一定粒度范围内的土粒，称为粒组。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。

土粒的大小及其组成情况，通常以土中各个粒组的相对含量来表示，称为土的颗粒级配或粒度成分。

土的颗粒级配是通过土的颗粒分析试验测定的。对于粒径小于等于 60mm、大于 0.075mm 的粒组，可用筛分法测定；对于粒径小于 0.075mm 的粒组，可用沉降分析法测定。

颗粒分析试验成果常采用颗粒级配累计曲线（粒径级配曲线）来表示。由累计曲线的坡度可以大致判断土粒的均匀程度或级配是否良好。如曲线较陡，表示粒径大小相差不大，土粒较均匀，级配不良；反之，曲线平缓，则表示粒径大小相差悬殊，土粒不均匀，即级配良好，用作填方土料时易于夯实。

不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$  可分别按下式计算：

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

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

式中， $d_{60}$ 、 $d_{30}$  及  $d_{10}$  分别为小于某粒径土重累计百分含量为 60%、30% 及 10% 时对应的粒径，分别称为限制粒径、中值粒径和有效粒径。

不均匀系数  $C_u$  的数值反映了土粒大小（粒度）的均匀程度。 $C_u$  越大表示粒度的分布

范围越大，土粒愈不均匀，其级配愈良好。工程上常把  $C_u < 5$  的土看做是均粒土，属级配不良； $C_u > 10$  的土，属级配良好。

曲率系数  $C_e$  反映的是累计曲线的整体形状。 $C_e$  值大，表示曲线向左凸，粗粒较多； $C_e$  值小，表示曲线向右凸，细粒较多。对于级配良好的土， $C_e = 1 \sim 3$ 。

◆土中水

土中液态水可分为结合水（吸附水）和自由水两大类。

结合水是指受电分子吸引力吸附于土粒表面的土中水。按吸引力的强弱，结合水又可以分为强结合水和弱结合水。结合水不能传递静水压力。黏性土中只含有强结合水时，呈固体状态。当土中含有较多的弱结合水时，土具有一定的可塑性。

自由水是存在于土粒表面电场影响范围以外的水。它的性质与普通水一样，能传递静水压力。自由水按其移动所受作用力的不同，可分为重力水和毛细水。

重力水是指受重力作用而移动的自由水，它存在于地下水位以下的透水层中，对土粒有浮力作用。毛细水受到它与空气交界面处表面张力的作用，而存在于潜水位以上的透水土层中。在工程中，需注意毛细水的上升高度。

◆黏土颗粒与水的相互作用

黏土颗粒（黏粒）的矿物成分主要有黏土矿物和其他化学胶结物或有机物质。常见的黏土矿物主要有高岭石、蒙脱石和伊利石三类。由于黏土矿物是很细小的扁平颗粒，颗粒表面具有很强的与水相互作用的能力，即亲水性强。土中含黏土矿物愈多，土的黏性、塑性和胀缩性就愈大。按亲水性的强弱分，蒙脱石最强，高岭石最弱。

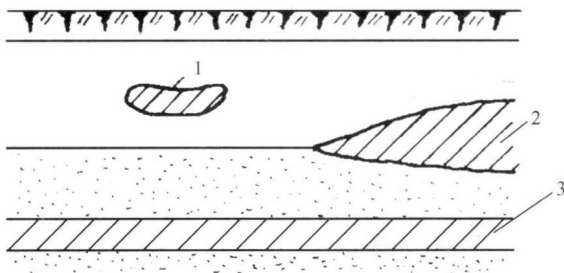


图 1-1 土的层理构造

1—淤泥夹黏土透镜体；2—黏土夹灭层；3—砂土夹黏土层

的，当受到振动及其他外力作用时，土粒易发生移动，土中孔隙减少，引起很大变形。

◆土的结构

土的结构是指土粒的原位集合体特征，是由土粒单元的大小、形状、相互排列及其联结关系等因素形成的综合特征。一般分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

单粒结构为碎石类土和砂类土的结构特征。呈紧密状态单粒结构的土，强度较大，压缩性较小；而具有疏松单粒结构的土，其骨架是不稳定的，



图 1-2 裂隙构造

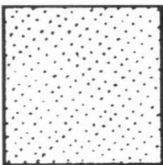


图 1-3 分散构造

蜂窝结构是主要由粉粒或细砂粒组成的土的结构形式。具有蜂窝结构的土有很大的孔隙。

絮状结构是由更细的黏粒集体组成的土的结构形式。

#### ◆土的构造

在同一土层中的物质成分和颗粒大小等都相近的各部分之间的相互关系的特征称为土的构造。一般可分为层理构造（图 1-1）、裂隙构造（图 1-2）和分散构造（图 1-3）。

### 3. 土的三相比例指标

#### ◆三个基本的三相比例指标

三个基本的三相比例指标是指土粒相对密度（旧称土粒比重） $d_s$ 、土的含水量  $w$  和密度  $\rho$ ，一般由试验室直接测定其数值。

#### ◆指标的定义与表达式（图 1-4）

1) 土粒相对密度  $d_s$ ：土粒质量与同体积的 4℃ 时纯水的质量之比，称为土粒相对密度（无量纲），即

$$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_{w1}} \quad (1-3)$$

土粒相对密度可用“比重瓶法”测定。

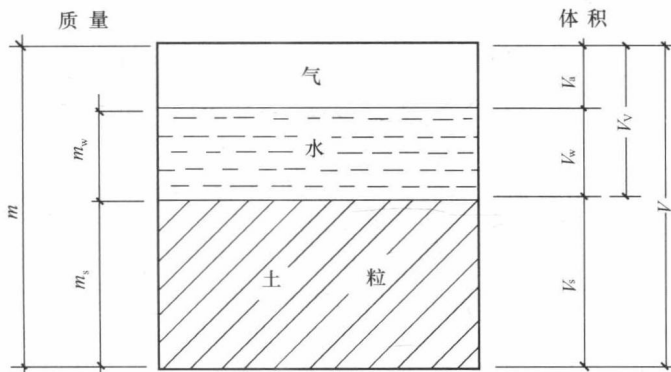


图 1-4 土的三相组成示意图

2) 土的含水量  $w$ ：土中水的质量与土粒质量之比，称为土的含水量，以百分数计，即

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

土的含水量一般用“烘干法”测定。

3) 土的密度  $\rho$ ：土单位体积的质量称为土的质量密度，简称土的密度（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ），即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-5)$$

土的密度一般用“环刀法”测定。

4) 土的干密度  $\rho_d$ ：土单位体积中固体颗粒部分的质量，称为土的干密度（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ），即

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-6)$$

5) 土的饱和密度  $\rho_{\text{sat}}$ ：土中孔隙完全被水充满时的单位体积质量，称为土的饱和密度

( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 即

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1-7)$$

6) 土的浮密度 (有效密度)  $\rho'$ : 在地下水位以下, 土单位体积中土粒的质量与同体积水的质量之差, 称为土的浮密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 即

$$\rho' = \frac{m_s - V_v \rho_w}{V} \quad (1-8)$$

$\rho$ 、 $\rho_d$ 、 $\rho_{\text{sat}}$  和  $\rho'$  均属于土的质量密度指标, 与之对应, 土的重力密度指标相应有: 土的重力密度 (简称重度)  $\gamma$ 、干重度  $\gamma_d$ 、饱和重度  $\gamma_{\text{sat}}$  和浮重度 (有效重度)  $\gamma'$ 。其相互关系为:  $\gamma = \rho g$ 、 $\gamma_d = \rho_d g$ 、 $\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} g$ 、 $\gamma' = \rho' g$ , 式中  $g \approx 10 \text{m}/\text{s}^2$ 。重力密度的单位常用“ $\text{kN}/\text{m}^3$ ”。

7) 土的孔隙比  $e$ : 土中孔隙体积与土粒体积之比, 称为土的孔隙比 (无量纲), 即

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

8) 土的孔隙率  $n$ : 土中孔隙体积与总体积之比, 称为土的孔隙率, 以百分数计, 即

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

9) 土的饱和度  $S_r$ : 土中被水充满的孔隙体积与孔隙总体积之比, 称为土的饱和度, 以百分数计, 即

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

#### ◆指标的换算

除  $d_s$ 、 $w$ 、 $\rho$  三个基本指标是通过试验测定外, 其余指标都可通过换算公式求得。通常先令  $V_s = 1$ , 然后求得土的三相物理指标换算图, 再结合指标的定义即可求得下述换算公式:

由 
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{d_s(1+w)\rho_w}{1+e}$$

得 
$$e = \frac{d_s(1+w)\rho_w}{\rho} - 1 \quad (1-12)$$

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{d_s \rho_w}{1+e} \quad (1-13a)$$

$$\gamma_d = \rho_d g = \frac{d_s \gamma_w}{1+e} \quad (1-13b)$$

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} = \frac{(d_s + e)\rho_w}{1+e} \quad (1-14a)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} g = \frac{(d_s + e)\gamma_w}{1+e} \quad (1-14b)$$

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} = \frac{(d_s - 1) \rho_w}{1 + e} \quad (1-15a)$$

$$\gamma' = \rho' g = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1 + e} \quad (1-15b)$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1 + e} \quad (1-16)$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w d_s}{e} \quad (1-17)$$

#### 4. 无黏性土的密实度

◆砂土、碎石土统称为无黏性土。无黏性土的密实度对其工程性质有重要的影响。当其处于密实状态时，结构较稳定，压缩性较小，承载力较大，是良好的天然地基；而处于松散状态时，稳定性差，压缩性大，承载力偏低，属于软弱地基。

##### ◆砂土密实度的判别方法

(1) 根据天然孔隙比  $e$  的大小来判别

该方法的缺点是不能反映砂土的级配和形状的影响，而且现场采取原状砂样较为困难。

(2) 根据相对密实度  $D_r$  来分类

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-18)$$

式中  $e_{\max}$ ——砂土在最松散状态时的孔隙比，即最大孔隙比；

$e_{\min}$ ——砂土在最密实状态时的孔隙比，即最小孔隙比；

$e$ ——砂土在天然状态时的孔隙比。

按相对密实度  $D_r$  可将砂土的密实度划分为密实、中密和松散三种。当  $D_r = 0$  时，表示砂土处于最松散状态；当  $D_r = 1$  时，表示砂土处于最密实状态。由于现场采取原状砂样较为困难，且受人为因素影响较大，故这一判别方法多用于填方工程的质量控制。

(3) 按标准贯入试验锤击数  $N$  划分

为避免采取原状砂样的困难，国家规范《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 中按砂层的标准贯入试验锤击数  $N$  值（修正后）将砂土的密实度划分为密实、中密、稍密和松散四种。

##### ◆碎石土密实度的划分

碎石土的密实度可按重型圆锥动力触探锤击数  $N_{63.5}$  或通过野外鉴别方法划分为密实、中密、稍密和松散四种。

#### 5. 黏性土的物理特征

##### ◆黏性土的界限含水量

界限含水量：黏性土由一种状态转到另一种状态的分界含水量。

液限：黏性土由可塑状态转到流动状态的界限含水量，用符号  $w_L$  表示。

塑限：黏性土由半固态（或坚硬状态）转到可塑状态的界限含水量，用符号  $w_p$  表示。

##### ◆塑性指数 $I_p$

省去百分号符号后的液限和塑限的差值称为塑性指数，其表达式为：

$$I_p = w_L - w_p \quad (1-19)$$

塑性指数反映了黏性土处在可塑状态的含水量变化范围，其数值的大小与土中结合水的可能含量有关，在工程上常用于对黏性土进行分类。

◆液性指数  $I_L$

液性指数  $I_L$  是黏性土的天然含水量和塑限的差值（除去百分号）与塑性指数之比，其表达式为：

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \quad (1-20)$$

液性指数是判别黏性土软硬状态的指标，其划分标准见表 1-1。

需要注意的是，对保持天然结构的原状土，在其含水量达到液限以后，并不处于流动状态，但其结构性一旦被破坏，土体则呈流动状态。

黏 性 土 的 状 态 表 1-1

| 状 态  | 坚 硬          | 硬 塑                 | 可 塑                    | 软 塑                   | 流 塑         |
|------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-------------|
| 液性指数 | $I_L \leq 0$ | $0 < I_L \leq 0.25$ | $0.25 < I_L \leq 0.75$ | $0.75 < I_L \leq 1.0$ | $I_L > 1.0$ |

◆黏性土的结构性

黏性土的结构性是指天然土的结构受到扰动影响而改变的特性。黏性土受扰动后，强度下降，压缩性增大。黏性土结构性的强弱一般用灵敏度  $S_L$  来衡量。土的灵敏度愈高，其结构性愈强，受扰动后土的强度降低就愈多。

◆黏性土的触变性

当饱和黏性土结构受扰动时，会导致强度降低，但静置一段时间后，土的强度又随时间而逐渐（部分）恢复。黏性土的这种胶体化学性质称为土的触变性。

6. 土的压实性

◆击实曲线

通过室内击实试验获得的同一土样不同含水量与其相对应的干密度的关系曲线称为击实曲线。

在一定击实条件下，只有当土的含水量为某一适宜值时，土样才能达到最密实，该含水量称为最优含水量  $w_{op}$ ，相应的干密度称为最大干密度  $\rho_{dmax}$ 。黏性土的最优含水量大致为  $w_{op} = w_p + 2 (\%)$ ；无黏性土不存在一个最优含水量，一般在完全干燥或者充分洒水饱和的情况下容易压实到较大的干密度。

在实践中，土不可能被压实到完全饱和的程度，因为随着密实度的加大，土孔隙中的气体越来越难于和大气相通，压实时不能将其完全排出去，因此击实曲线只能趋于理论饱和曲线的左下方，而不可能与它相交。

◆影响土压实性的因素

影响土压实性的因素主要有含水量、土类及级配、压实能量等。

7. 地基土的工程分类

◆作为建筑物地基的土，按《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 可分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和特殊土等。

◆岩石

岩石按坚硬程度可分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩；按风化程度可分为未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化；按完整程度可分为完整、较完整、较破碎、破碎和极破碎。

#### ◆碎石土

碎石土是指粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土。按粒组含量及颗粒形状可分为漂石或块石、卵石或碎石、圆砾或角砾。

#### ◆砂土

砂土是指粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重的 50%，且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土。按粒组含量可分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

#### ◆粉土

粉土为介于砂土与黏性土之间，塑性指数  $I_p \leq 10$  且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过全重 50% 的土。

#### ◆黏性土

黏性土是指塑性指数  $I_p > 10$  的土。按塑性指数  $I_p$  可分为粉质黏土 ( $10 < I_p \leq 17$ ) 和黏土 ( $I_p > 17$ )。

#### ◆特殊土

特殊土是指具有一定分布区域或工程意义，具有特殊成分、状态和结构特征的土。常见的有软土、人工填土、红黏土、湿陷性土、混合土、冻土、膨胀土、盐渍土、残积土、污染土等。

软土是指沿海的滨海相、三角洲相、河谷相、内陆平原或山区的河流相、湖泊相、沼泽相等主要由细粒土组成的孔隙比大、天然含水量高、压缩性高和强度低的土，包括淤泥、淤泥质土和泥炭等。

淤泥为在静水或缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成，其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的黏性土。当天然含水量大于液限而天然孔隙比小于 1.5 但大于或等于 1.0 的黏性土或粉土为淤泥质土。

人工填土是指人类各种活动而形成的堆积物。按组成物质及成因可分为素填土、压实填土、杂填土和冲填土。

## 二、例题精解

【例 1-1】在图 1-4 中，假定土粒质量  $m_s = 1$ ，试以此推导出土的孔隙比、干密度、饱和密度、浮密度、孔隙率和饱和度的计算公式。

【解】令  $m_s = 1$ ，由式 (1-4) 得

$$\begin{aligned} m_w &= w m_s = w \\ m &= m_s + m_w = 1 + w \end{aligned}$$

由式 (1-3) 得

$$V_s = \frac{m_s}{d_s \rho_{w1}} = \frac{1}{d_s \rho_w}$$

由式 (1-9) 得

$$V_v = eV_s = \frac{e}{d_s \rho_w}$$

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w} = \frac{w}{\rho_w}$$

$$V = V_s + V_v = \frac{1}{d_s \rho_w} + \frac{e}{d_s \rho_w} = \frac{1+e}{d_s \rho_w}$$

将上述各项填入土的三相物理指标换算图中，如图 1-5 所示。

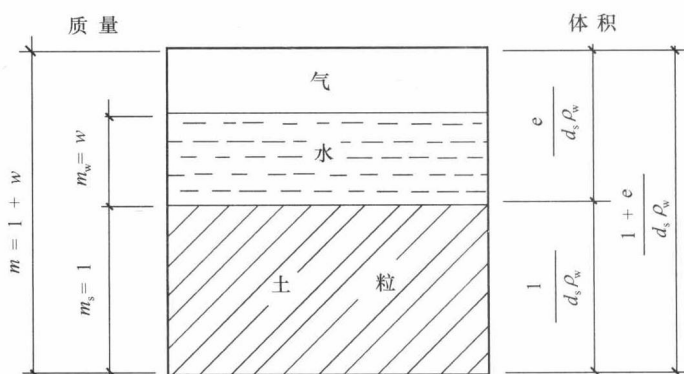


图 1-5 土的三相物理指标换算图

由密度  $\rho$  的定义得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1+w}{\frac{1+e}{d_s \rho_w}} = \frac{d_s(1+w)\rho_w}{1+e}$$

于是有

$$e = \frac{d_s(1+w)\rho_w}{\rho} - 1$$

按所求其他指标的定义，将图 1-5 中相应项代入，得

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{1}{\frac{1+e}{d_s \rho_w}} = \frac{d_s \rho_w}{1+e}$$

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} = \frac{1 + \frac{e}{d_s}}{\frac{1+e}{d_s \rho_w}} = \frac{(d_s + e)\rho_w}{1+e}$$

$$\rho' = \frac{m_s - V_v \rho_w}{V} = \frac{1 - \frac{1}{d_s}}{\frac{1+e}{d_s \rho_w}} = \frac{(d_s - 1)\rho_w}{1+e}$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{\frac{e}{d_s \rho_w}}{\frac{1+e}{d_s \rho_w}} = \frac{e}{1+e}$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\frac{w}{\rho_w}}{\frac{e}{d_s \rho_w}} = \frac{wd_s}{e}$$

可见上述结果与式 (1-12) ~ 式 (1-17) 完全相同。

【例 1-2】 有一完全饱和的原状土样切满于容积为  $21.7\text{cm}^3$  的环刀内，称得总质量为  $72.49\text{g}$ ，经  $105^\circ\text{C}$  烘干至恒重为  $61.28\text{g}$ ，已知环刀质量为  $32.54\text{g}$ ，土粒相对密度为  $2.74$ ，试求该土样的密度、含水量、干密度及孔隙比（要求按三相比例指标的定义求解）。

【解】

$$m = 72.49 - 32.54 = 39.95 \text{ g}$$

$$m_s = 61.28 - 32.54 = 28.74 \text{ g}$$

$$m_w = m - m_s = 39.95 - 28.74 = 11.21 \text{ g}$$

$$V = 21.7 \text{ cm}^3$$

$$V_v = V_w = \frac{m_w}{\rho_w} = \frac{11.21}{1} = 11.21 \text{ cm}^3$$

$$V_s = V - V_v = 21.7 - 11.21 = 10.49 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{39.95}{21.7} = 1.841 \text{ g/cm}^3$$

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{11.21}{28.74} = 39.0\%$$

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{28.74}{21.7} = 1.324 \text{ g/cm}^3$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{11.21}{10.49} = 1.069$$

【例 1-3】 某原状土样，试验测得土的天然密度  $\rho = 1.7\text{t/m}^3$ ，含水量  $w = 22.0\%$ ，土粒相对密度  $d_s = 2.72$ 。试求该土样的孔隙比  $e$ 、孔隙率  $n$ 、饱和度  $S_r$ 、干重度  $\gamma_d$ 、饱和重度  $\gamma_{\text{sat}}$  及浮重度  $\gamma'$ 。

【解】 
$$e = \frac{d_s(1+w)\rho_w}{\rho} - 1 = \frac{2.72 \times (1+0.22) \times 1}{1.7} - 1 = 0.952$$

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.952}{1+0.952} = 48.8\%$$

$$S_r = \frac{wd_s}{e} = \frac{0.22 \times 2.72}{0.952} = 62.9\%$$

$$\gamma_d = \frac{d_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2.72 \times 10}{1+0.952} = 13.93 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(d_s + e) \gamma_w}{1+e} = \frac{(2.72 + 0.952) \times 10}{1+0.952} = 18.81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1+e} = \frac{(2.72 - 1) \times 10}{1+0.952} = 8.81 \text{ kN/m}^3$$

【例 1-4】 一干砂试样的密度为  $1.66\text{g/cm}^3$ ，土粒相对密度为  $2.70$ ，将此干砂试样置于雨中，若砂样体积不变，饱和度增加到  $0.60$ ，试计算此湿砂的密度和含水量。

【解】 由

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{d_s \rho_w}{1+e}$$

得 
$$e = \frac{d_s \rho_w}{\rho_d} - 1 = \frac{2.7 \times 1}{1.66} - 1 = 0.627$$

由 
$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w d_s}{e}$$

得 
$$w = \frac{S_r e}{d_s} = \frac{0.6 \times 0.627}{2.7} = 13.9\%$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{d_s (1 + w) \rho_w}{1 + e} = \frac{2.7 \times (1 + 0.139) \times 1}{1 + 0.627} = 1.89 \text{g/cm}^3$$

【例 1-5】 某砂土土样的密度为 1.77g/cm<sup>3</sup>，含水量为 9.8%，土粒相对密度为 2.67，烘干后测定最小孔隙比为 0.461，最大孔隙比为 0.943，试求孔隙比 *e* 和相对密实度 *D<sub>r</sub>*，并评定该砂土的密实度。

【解】 
$$e = \frac{d_s (1 + w) \rho_w}{\rho} - 1 = \frac{2.67 \times (1 + 0.098) \times 1}{1.77} - 1 = 0.656$$

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{0.943 - 0.656}{0.943 - 0.461} = 0.595$$

因为 1/3 < *D<sub>r</sub>* = 0.595 < 2/3，所以该砂土的密实度为中密。

【例 1-6】 某一完全饱和黏性土试样的含水量为 30%，液限为 33%，塑限为 17%，试按塑性指数和液性指数分别定出该黏性土的分类名称和软硬状态。

【解】 
$$I_p = w_L - w_p = 33 - 17 = 16$$

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} = \frac{30 - 17}{16} = 0.81$$

因为 10 < *I<sub>p</sub>* = 16 < 17，所以该黏性土应定名为粉质黏土；

因为 0.75 < *I<sub>L</sub>* = 0.81 < 1.0，所以该黏性土的状态为软塑。

【例 1-7】 某无黏性土样的颗粒分析结果列于表 1-2，试定出该土的名称。

| 某无黏性土样的颗粒分析结果 |        |         |            |              | 表 1-2   |
|---------------|--------|---------|------------|--------------|---------|
| 粒径 (mm)       | 10 ~ 2 | 2 ~ 0.5 | 0.5 ~ 0.25 | 0.25 ~ 0.075 | < 0.075 |
| 相对含量 (%)      | 4.5    | 12.4    | 35.5       | 33.5         | 14.1    |

【解】 按表 1-2 中所给的颗粒分析资料，根据粒径分组由大到小确定土的名称。

大于 2mm 粒径的土粒含量为 4.5%，小于全重的 25%，所以既不是碎石土，也不是砾砂；

大于 0.5mm 粒径的土粒含量为 (4.5 + 12.4)% = 16.9%，小于全重的 50%，所以不是粗砂；

大于 0.25mm 粒径的土粒含量为 (16.9 + 35.5)% = 52.4%，超过了全重的 50%，所以应定名为中砂。

### 三、习题

#### 第一部分

#### 1. 选择题

1-1 若土的颗粒级配累计曲线很陡，则表示( )。