

章杨松

编

土力学及基础工程 学习指导与习题

河海大学出版社

土力学及基础工程 学习指导与习题

章杨松 编

河海大学出版社

内 容 简 介

本书为土木工程专业《土力学》和《基础工程》课程的辅助读物。内容包括①土的物理性质及分类;②土的渗透性和水的渗流;③土中应力计算;④土的压缩性及地基沉降计算;⑤土的抗剪强度;⑥土压力;⑦天然地基承载力;⑧土坡稳定分析;⑨天然地基上的浅基础;⑩连续基础;⑪桩基础。各章均包括重点、难点内容的学习辅导和习题详解。其中土力学部分注重讲述疑难概念和计算;基础工程部分对设计理论和实际中的疑难问题进行重点讲述,基础工程有关内容的编写依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)和最新实施的《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)。

本书主要供土木工程专业本科生学习参考和考研复习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学及基础工程学习指导与习题/章杨松编.
南京:河海大学出版社,2009.3
ISBN 978-7-5630-2586-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 026659 号

书 名 土力学及基础工程学习指导与习题
书 号 ISBN 978-7-5630-2586-2/TU·71
责任编辑 吴毅文
封面设计 张世立
出版发行 河海大学出版社
地 址 南京市西康路 1 号(邮编:210098)
电 话 (025)83737852(总编室) (025)83722833(营销部)
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
排 版 南京理工大学印刷厂
印 刷 南京理工大学印刷厂
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 12 印张 330 千字
版 次 2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷
定 价 24.00 元

目 录

第 1 章 土的物理性质及分类	1
1.1 学习要点	1
1.2 主要内容阐述	1
1.3 习题	5
第 1 章习题解答	9
第 2 章 土的渗透性和水的渗流	20
2.1 学习要求	20
2.2 主要内容阐述	20
2.3 习题	24
第 2 章习题解答	27
第 3 章 土中应力计算	30
3.1 学习要求	30
3.2 主要内容阐述	30
3.3 习题	33
第 3 章习题解答	37
第 4 章 土的压缩性及地基沉降计算	42
4.1 学习要求	42
4.2 主要内容阐述	42
4.3 习题	47
第 4 章习题解答	53
第 5 章 土的抗剪强度	61
5.1 学习要求	61
5.2 主要内容阐述	61
5.3 习题	66
第 5 章习题解答	70
第 6 章 土压力	80
6.1 学习要求	80
6.2 主要内容阐述	80
6.3 习题	84
第 6 章习题解答	87
第 7 章 天然地基承载力	94
7.1 学习要求	94

7.2 主要内容阐述.....	94
7.3 习题.....	98
第7章习题解答.....	100
第8章 土坡稳定分析	104
8.1 学习要求	104
8.2 主要内容阐述	104
8.3 习题	105
第8章习题解答.....	106
第9章 天然地基上的浅基础	109
9.1 学习要点	109
9.2 主要内容阐述	109
9.3 习题	122
第9章习题解答.....	132
第10章 连续基础	142
10.1 学习要点.....	142
10.2 主要内容阐述.....	142
10.3 习题.....	151
第10章习题解答	152
第11章 桩基础	154
11.1 学习要点.....	154
11.2 主要内容阐述.....	154
11.3 习题.....	172
第11章习题解答	179
参考文献	186

第 1 章 土的物理性质及分类

1.1 学习要点

【掌握】土的粒径组成(或颗粒级配、粒度成分);粒组划分;粒径分析;粒径分布曲线(级配曲线)及其分析应用;土的三相比例指标;砂土及黏性土的物理状态及相应指标;砂土的相对密实度及状态划分;黏性土的稠度和可塑性;稠度界限;塑性指数及液性指数的计算;土的三相含量指标的计算;相对密实度的计算;塑性指数及液性指数的计算。

【理解】土的形成过程;粒径分析方法(筛分法、比重计法);不均匀系数;曲率系数;土的矿物成分及相应的物理性质;土中水的类型及相应的性质;粗粒土、粉土、黏性土的结构及对土性的影响;重塑土;黏性土的灵敏度及触变性;标准贯入试验及标贯数;塑限及液限的确定方法;土(岩)的工程分类。

1.2 主要内容阐述

1.2.1 土的类型

根据成因不同,土的沉积类型有:残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖沼积土、海积土、冰川积土、风积土等。此外,还有在特殊环境下形成的特殊土,如沿海的软土、陕甘晋的黄土、黔滇桂的红黏土等。

1.2.2 土的粒径组成

土的粒径组成及矿物组成是决定土的物理性质的最基本的因素,土的很多物理及工程工程性质都是由其决定的。

1) 粒组的概念

介于一定粒度范围内的土粒,称为粒组。划分粒组的原则是在同一粒组粒径范围内土颗粒具有相似的性质,而随着粒组的变化,土呈现出一定质的变化。常根据界限粒径 200 mm, 60 mm, 2 mm, 0.075 mm 和 0.005 mm 将土分成六大粒组。

2) 粒度分析

确定各粒组相对含量的方法——颗粒分析试验(筛分法:粒径 $d \geq 0.075$ mm;比重瓶法:粒径 $d < 0.075$ mm)。

级配曲线(图 1-1):横坐标(按对数比例尺)表示某一粒径(d);纵坐标表示小于某一粒径的土粒百分含量(%).由颗粒级配曲线可以知道某一粒径范围的百分含量。

定义两个指标表示颗粒大小、均匀程度及其级配情况:

(1) 不均匀系数 C_u :该指标反映了大颗粒和小颗粒含量的差异。

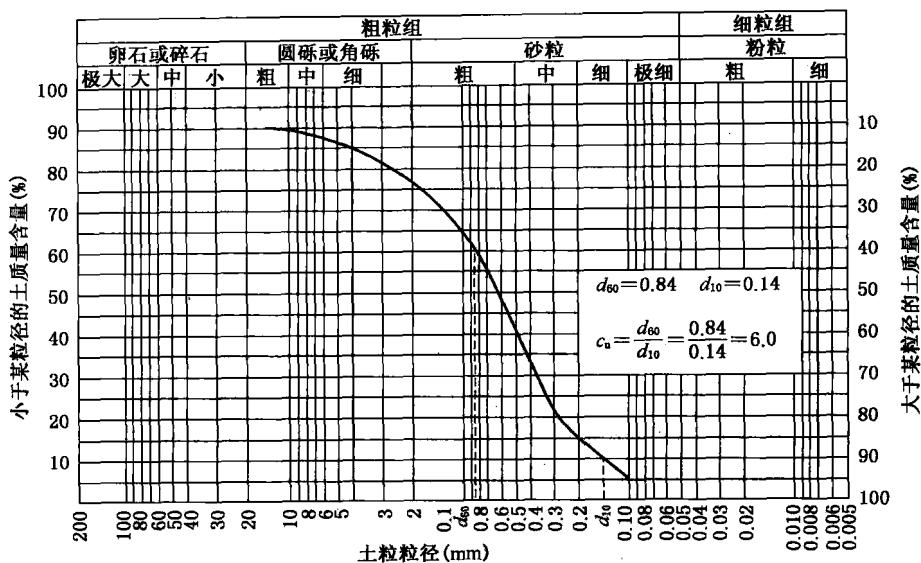


图 1-1 级配曲线

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

式中： d_{60} (限定粒径)——小于该粒径的含量占总量的 60%；

d_{10} (有效粒径)——小于该粒径的含量占总量的 10%。

(2) 曲率系数 C_c ：该指标考虑了中间粒径的影响， C_c 大于 3，曲率变化快，土均匀； C_c 小于 1，曲率变化平缓，中间颗粒少。

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

式中： d_{30} (连续粒径)——小于该粒径的含量占总量的 30%。

根据级配曲线，可从以下几方面分析颗粒的级配特点：

曲线的起止范围反映了该土样中颗粒粒径的范围，范围越大，土中颗粒的大小就越不均匀，就越容易成为级配良好的土。对级配良好的土，要求其 $C_u \geq 5$ 。

若级配曲线上的某段较为平缓，则表明该段颗粒含量较少；反之，若较陡，则该段颗粒含量较多。对级配良好的土，要求其 $C_c = 1 \sim 3$ 。

工程上判别土体级配好坏的指标：当同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 时，土的级配良好，否则，级配不良。

1.2.3 黏粒与水溶液的表面作用

黏粒表面带负电，水分子有极性，故黏粒与水分子之间会发生相互作用。其中：

(1) 强结合水：其水分子被黏粒紧密地吸附，很难分开。

(2) 弱结合水：黏粒对水分子的吸附作用使其不能完全自由运动，水可发生一定程度的变形，表现为黏性土具有可塑性。

(3) 自由水：水分子距黏粒较远，可自由运动。

1.2.4 土的结构及其联结

1) 土的结构

土的结构是指土粒之间的相互排列和联结方式。

2) 砂土的结构变化

(1) 受高频振动时,颗粒位置重新调整,使砂更趋密实;

(2) 饱和的粉砂、细砂在动荷载作用下,会失去强度,产生砂土液化。

1.2.5 黏性土的结构性和触变性

黏性土的天然结构(原状土)被破坏后(扰动土),其强度通常会下降,称为土的结构性。其结构性的强弱用灵敏度表示,其定义为:原状土与重塑土无侧限抗压强度之比,或不排水抗剪强度之比。

1.2.6 土的三相指标

土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的,通常称之为土的三相组成(固相、液相和气相,图1-2)。在土的固相这一部分中,主要应掌握土的三种结构及其特点和土的级配、级配曲线及其主要用途等内容。在土的液相这一部分中,着重搞清结合水的形成及其特性以及它与自由水的根本区别。

土中固体颗粒、液体和气体各部分含量的比例关系,直接影响土的物理性质和土的状态。例如,同一种土,松散时强度较低,经过外力压密后,强度会提高。对于黏性土,含水量不同,其性质也有明显差别,含水量多,则软,强度低,承载力低;含水量少,则硬,强度高,承载力高。

为进一步描述土的物理力学性质,将土的三相成分比例关系量化,用一些具体的物理量表示,这些物理量就是土的物理性质指标,如含水量、密度、土粒比重、孔隙比、孔隙率和饱和度等。应熟练掌握各种物理性质指标的定义、单位、数值范围及主要指标的工程应用。

1.2.7 土的物理状态

土的物理状态主要是指:

无黏性土:密实程度,疏松或密实。黏性土:稠度,即土的软硬程度。

综合而言,土的物理状态即指土的松密、干湿软硬等状态。

1) 无黏性土密实程度指标

(1) 孔隙比 e

孔隙比越大,则土越松散,反之越密实。孔隙比仅适用于级配相近的土的密实度的比较,且取原状土样测定孔隙比 e 比较困难。

(2) 相对密度 D_r

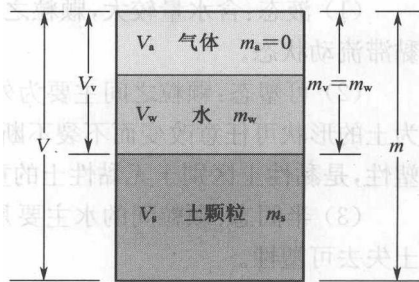


图 1-2 土的三相图

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-3)$$

式中： e ——原状土的孔隙比；

$e_{\max}$ 和 $e_{\min}$ ——分别为该种土所能达到的最大和最小孔隙比。

同样，它也有着原状土孔隙比 e 较难测定的问题。

(3) 标准贯入击数 $N_{63.5}$

通过现场标准贯入试验确定，适用范围较广，避免了无黏性土取样易扰动的问题，但标准贯入击数是反映密实状态的间接指标，其可靠性依赖于已建立的经验关系和现场试验的准确性。

2) 黏性土的状态及可塑性

即黏性土的软硬程度，或称稠度状态，如图 1-3 所示。其中：

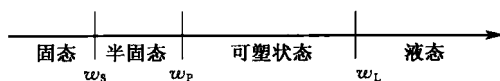


图 1-3 黏性土的物理状态

(1) 液态：含水量较大，颗粒之间有自由水，且粒间联结很弱。宏观上表现为黏土处于黏滞流动状态。

(2) 可塑态：颗粒之间主要为外层间的结合水，土粒之间有一定的联结力。宏观上表现为土的形状可任意改变而不裂不断，外力解除后，土仍保持改变后的形状，这种性能称为可塑性，是黏性土区别于无黏性土的重要特征。

(3) 半固态：颗粒间的水主要是强结合水和扩散层的内层结合水，粒间联结比较牢固，土失去可塑性。

(4) 固态：土间之水为强结合水，粒间联结非常牢固，土体积已不随含水量的减少而减少。

(5) 稠度界限：黏性土由一种状态变为另一种状态的界限含水量。

(6) 液限：由液态转变为可塑状态时的分界含水量。由锥式(碟式)液限仪法或液塑限联合测定法确定。

(7) 塑限：由塑性状态转变为半固体状态时的分界含水量。由搓条法或液塑限联合测定法确定。

(8) 缩限：由半固态转变为固态的分界含水量。

(9) 塑性指数 I_p ：反映黏性土的可塑性的大小，从液限到塑限的含水量变化范围越大，土的可塑性越好。 I_p 由下式计算：

$$I_p = w_L - w_p \quad (1-4)$$

I_p 塑性习惯上用不带%的数值表示，它反映了该种土的固有特性(指颗粒组成、矿物成分、结构性等)，为黏性土分类的指标。

(10) 液性指数 I_L ：是一个表示天然含水量与界限含水量相对关系的指标。

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \quad (1-5)$$

由 I_L 可判断黏性土所处的物理状态，从而了解土的工程性质。

1.2.8 土(岩)的工程分类

《建筑地基基础设计规范》(GB 5007—2002)将作为建筑地基的土(岩)分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土等六类。其中,岩石按强度、完整程度等进行简单分类;粗粒土按其级配(及颗粒是否圆滑)分类;细粒土按塑性指数分类;粉土采用塑性指数和颗粒级配同时控制。

1.2.9 土的压实性

(1) 击实试验——研究土压实性的基本方法,分轻型和重型两种,试验结果用击实曲线反映。

(2) 影响黏性土压实性的因素

① 含水量的影响。只有在某一含水量(最优含水量)下才能获得最佳的击实效果。

注意:(a)在填土工程中注意控制土的含水量,在土较干或较湿时都不容易将土击实到最密实状态。(b)含水量过高或过低对填土工程都是不利的。

② 击实功能的影响。由击实试验可知:(a)土粒的最大干密度和最优含水量并不是常数。最大干密度随击数的增加而逐渐增大,最优含水量则逐渐减少。但是这种增大或减少是递减的,因此,仅靠增加击实功能来提高土的最大干密度是有一定限度的。(b)当含水量较低时击数的影响较显著。当含水量较高时,含水量与干密度关系曲线趋近于饱和线,也就是说,这时提高击实功能是无效的。

③ 土的类型和级配的影响。含粗粒越多的土样经压实后其最大干密度越大,而最优含水量越小;在其他条件相同时,级配良好的土(土粒不均匀),压实后其干密度大于级配不良的土(土粒均匀)。

1.3 习 题

1.3.1 思考题

1. 土是怎样生成的?有何工程特点?
2. 什么是土的颗粒级配?什么是土的颗粒级配曲线?
3. 什么是土的结构?其基本类型是什么?
4. 什么是土的构造?其主要特征是什么?
5. 土中水按性质可以分为哪几类?
6. 什么是土的物理性质指标?哪些是直接测定的指标?哪些是计算指标?
7. 什么是土的塑限、液限和缩限?什么是土的液性指数、塑性指数?
8. 塑性指数 I_P 对地基土性质有何影响?
9. 说明细粒土分类塑性图的优点。
10. 简述用孔隙比 e 、相对密实度 D_r 判断砂土密实度的优缺点。
11. 什么是土的灵敏度和触变性?试述其在工程中的应用。
12. 影响土压实性的主要因素是什么?

13. 什么是最优含水量和最大干密度?
14. 为什么含水量 $w < w_{op}$ 时,干密度 ρ_d 随 w 增加而增大, $w > w_{op}$ 时, ρ_d 随 w 增加而减小?
15. 试述强、弱结合水对土性的影响。
16. 试述毛细水的性质和对工程的影响。
17. 无黏性土和黏性土的物理性质有何不同? 反映在工程性质上,又有哪些区别?
18. 塑性指数 I_p 的工程意义如何?
19. 定义了含水量指标,黏性土为何还要定义液性指数 I_L 来反映其软硬状态?
20. 什么是粉土? 工程实践中如何区别?
21. 何谓土的塑性图分类法? 它有何优缺点?
22. 如何划分人工填土? 工程中如何利用?

1.3.2 单选题

1. 在土的三相比例指标中,直接通过室内试验测定的基本指标为()。
(A) w, e, ρ (B) d_s, w, ρ (C) d_s, ρ, e (D) d_s, w, e
2. 淤泥和淤泥质土的含水量()。
(A) 大于 50% (B) 大于塑限 (C) 大于液限 (D) 大于缩限
3. 软土具有以下特性之一()。
(A) 天然含水量低于塑限 (B) 压缩性较高
(C) 承载力高 (D) 透水性较好
4. 若土的颗粒级配曲线很陡,则表示()。
(A) 不均匀系数较大 (B) 粒径分布不均匀
(C) 粒径分布较均匀 (D) 级配良好
5. 若两种土的不均匀系数 C_u 相同,则两种土的()。
(A) 限定粒径相同 (B) 有效粒径相同
(C) 限定粒径与有效粒径之比相同 (D) 颗粒级配曲线相同
6. 杂填土主要由下列物质组成()。
(A) 由水力冲填泥砂形成
(B) 碎石土、砂土、黏性土等一种或数种
(C) 符合一定要求的级配砂土
(D) 大量工业废料、生活垃圾或建筑垃圾
7. 若某砂土的天然孔隙比与其能达到的最小孔隙比相等,则该土()。
(A) 处于最疏松状态 (B) 处于中等密实状态
(C) 处于最密实状态
8. 某黏性土的液性指数 $I_L = 0.8$, 则该土的软硬状态为()。
(A) 硬塑 (B) 可塑 (C) 软塑 (D) 流塑
9. 某黏性土的塑性指数 $I_p = 9$, 该土的名称为()。
(A) 粉土 (B) 粉质黏土 (C) 黏土 (D) 砂土
10. 从某淤泥质土测得原状土和重塑土的抗压强度分别为 10 kPa 和 2 kPa, 该淤泥的

- 灵敏度 S_l 为()。
- (A) 11 (B) 10 (C) 5 (D) 0
11. 下列说法中,错误的是()。
- (A) 土的自重应力一般不会引起地基变形
(B) 地基中的附加应力会引起地基变形
(C) 饱和土中的总应力等于有效应力与孔隙压力之和
(D) 孔隙水压力会使土体产生体积变形
12. 设已获得同一场地同一土层的 γ , γ_{sat} , γ' 和 γ_d , 数值大小依次为()。
- (A) $\gamma_d < \gamma' < \gamma < \gamma_{\text{sat}}$ (B) $\gamma_d < \gamma < \gamma' < \gamma_{\text{sat}}$
(C) $\gamma' < \gamma_d < \gamma < \gamma_{\text{sat}}$ (D) $\gamma' < \gamma < \gamma_d < \gamma_{\text{sat}}$
13. 在工程上,对于粒径分别大于 0.075 mm 及小于 0.075 mm 的土,采用的颗粒级配试验方法()。
- (A) 均为筛分法 (B) 均为沉降分析法
(C) 前者为筛分法,后者为沉降分析法
14. 碎石土应为粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过总重的百分比为()。
- (A) 20% (B) 50% (C) 70% (D) 60%
15. 粒径大于 0.5 mm 的颗粒含量超过全重的 50%,且粒径大于 2 mm 的颗粒含量不足全重 50%的土为()。
- (A) 粗砂 (B) 中砂 (C) 细砂 (D) 粉砂
16. 天然状态砂土的密实度一般用()来测定。
- (A) 载荷试验 (B) 轻便触探试验
(C) 现场十字板剪切试验 (D) 标准贯入试验
17. 指标()适合用于评价砂土的密实度。
- (A) 天然含水量 w (B) 孔隙比 e
(C) 标准贯入试验锤击数 N (D) 抗剪强度指标 c, φ
18. 指出下列何种土不用塑性指数 I_p 来定名()。
- (A) 黏土 (B) 粉质黏土 (C) 粉土 (D) 砂土
19. 对于粉质黏土的塑性指数 I_p ,下列各项所列数值()正确。
- (A) $I_p < 3$ (B) $3 \leq I_p \leq 10$ (C) $10 < I_p \leq 17$ (D) $I_p > 17$
20. 某土的塑性指数 $I_p = 14$, 该土的名称为()。
- (A) 粉土 (B) 粉质黏土 (C) 黏土 (D) 砂土
21. 黏性土的塑性指数 I_p 越大,则可能是下列原因()。
- (A) 含水量 w 越大 (B) 塑限 w_p 越高 (C) 粉粒含量越高 (D) 黏粒含量越高
22. 素填土是由()组成的填土。
- (A) 碎石土、砂土、建筑垃圾 (B) 碎石土、砂土、生活垃圾
(C) 碎石土、黏性土、工业废料 (D) 碎石土、砂土、粉土、黏性土
23. 黏粒含量越多,土的塑性(),塑性指数()。
- (A) 越强,越小 (B) 越弱,越小 (C) 越弱,无影响 (D) 越强,越大

24. 用以划分砂土湿度状态的物理指标是()。
 (A) 密度 (B) 孔隙比 (C) 饱和度 (D) 干密度
25. 黏性土软硬状态的划分依据是()。
 (A) 含水量 (B) 液限 (C) 塑性指数 (D) 液性指数

1.3.3 计算题选择题及计算题

- 有一完全饱和土样切满环刀内,称得总质量为 72.49 g,经 105℃烘至恒质量为 61.28 g,已知环刀质量为 32.54 g,土的相对密度为 2.74。其天然孔隙比为()。
 (A) 1.088 (B) 1.069 (C) 1.000 (D) 1.058
- 某原状土样处于完全饱和状态,测得含水量 $w = 32.45\%$,土粒相对密度 $d_s = 2.65$,液限 $w_L = 36.4\%$,塑限 $w_P = 18.9\%$ 。此土样的名称及其物理状态是()。
 (A) 粉质黏土,可塑 (B) 粉质黏土,硬塑
 (C) 粉土,硬塑 (D) 黏土,软塑
- 某土试样的天然密度为 1.74 t/m^3 ,含水量为 20% ,土粒相对密度为 2.65,最大干密度为 1.67 t/m^3 ,最小干密度 1.39 t/m^3 ,其相对密实度及密实程度为()。
 (A) $D_r = 0.28$,松散状态 (B) $D_r = 0.35$,中密状态
 (C) $D_r = 0.25$,松散状态 (D) $D_r = 0.68$,密实状态
- 某饱和原状土样的天然含水量 $w = 27.6\%$,液限含水量 $w_L = 35\%$,塑限含水量 $w_P = 17\%$,该土的名称和状态是()。
 (A) 粉土,流塑状态 (B) 粉质黏土,流塑状态
 (C) 黏土,可塑状态 (D) 粉质黏土,硬塑状态
- 某烘干土样质量为 200 g,其颗粒分析结果如表 1-1 所列。试绘制颗粒级配曲线,求特征粒径,并确定不均匀系数以及评价级配均匀情况。

表 1-1

粒径(mm)	10~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	0.1~0.05	0.05~1	0.01~0.005	<0.005
粒组含量(g)	10	16	18	24	22	38	20	25	7	20

- 某地基土样,含水量 $w = 18\%$,干密度 $\rho_d = 1.60 \text{ kg/cm}^3$,相对密度 $d_s = 3.10$,液限 $w_L = 29.1\%$,塑限 $w_P = 17.3\%$ 。求:(1)该土的孔隙比 e 、孔隙率 n 、饱和度 S_r 。(2)塑性指数 I_P 、液性指数 I_L ,并确定土的名称及状态。
- 从某土层中取原状土做试验,测得土样体积为 50 cm^3 ,湿土样质量为 98 g,烘干后质量为 77.5 g,土粒相对密度为 2.65。计算土的天然密度 ρ 、干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 、有效密度 ρ' 、天然含水量 w 、孔隙比 e 、孔隙率 n 及饱和度 S_r 。
- 某地基土为砂土,取风干后土样 500 g,筛分试验结果如表 1-2 所列。试确定砂土名称。

表 1-2

筛孔直径(mm)	20	2	0.5	0.25	0.075	<0.075	总计
留在每层筛上土重(g)	0	40	70	150	190	50	500
大于某粒径的颗粒占全重的百分率(%)	0	8	22	52	90	100	

9. 已知土样相对密度为 2.7, 孔隙率为 50%, 含水量为 20%, 若将 10 m^3 该土体加水至完全饱和, 需要加多少水?
10. 一体积为 50 cm^3 的原状土样, 其湿土质量为 0.1 kg, 烘干后质量为 0.07 kg, 土粒相对密度为 2.7, 土的液限 $w_L = 50\%$, 塑限 $w_P = 30\%$ 。求: (1) 土的塑性指数 I_P 、液性指数 I_L , 并确定该土的名称和状态。(2) 若将土样压密使其干密度达到 1.7 t/m^3 , 此时土样孔隙比减少多少?
11. 已知某中砂层在地下水位以下的饱和重度 $\gamma_{\text{sat}} = 20.8 \text{ kN/m}^3$, 相对密度 $d_s = 2.73$ 。求该砂层的天然孔隙比 e 。若该砂层的最松和最密孔隙比分别为 0.64、0.56, 求相对密实度 D_r , 并确定该土样的物理状态。
12. 一侧限压缩土样, 经试验测得土样原始高度为 2.5 cm, 截面积为 50 cm^2 , 试验前土样质量为 180 g, 烘干后土样质量为 160 g, 在 1 kg/cm^2 正应力作用下, 土样压缩稳定后高度为 1.9 cm, 土质量为 170 g。求: (1) 试验前和压缩稳定后土样的密度和含水量。(2) 设土粒相对密度为 2.7, 求土样压缩稳定后的孔隙比和饱和度。
13. 某湿土试样质量是 100 g, 含水量为 16%, 若要制备含水量为 25% 的试样, 需要加多少水?
14. 一体积为 50 cm^3 的原状土样, 其湿土质量为 0.1 kg, 烘干后质量为 0.072 kg, 土粒相对密度为 2.69, 土的液限为 35%, 塑限为 19%。试求:
 - (1) 土的塑性指数、液性指数, 并确定该土的名称和状态。
 - (2) 若将土样压密使其干密度达到 1.72 t/m^3 , 此时土样的孔隙比减少多少?
15. 一黏性土相对密度为 2.75, 重度为 16.5 kN/m^3 , 饱和度为 85%, 液限为 52%, 塑限为 37%。求其液性指数、塑性指数, 判断其物理状态。
16. 有一砂层, 其天然饱和重度 $\gamma_{\text{sat}} = 20.3 \text{ kN/m}^3$, 土粒相对密度为 2.7, 试验测得此砂最松时装满 1000 m^3 容器需干砂 1450 kg, 最密实状态时需干砂 1750 kg。求相对密实度是多少?
17. 某土层原位十字板测定的土的平均抗剪强度为 $\tau_f = 50 \text{ kPa}$, 取该土扰动后重新制成试样, 进行室内无侧限抗压强度试验, 测得的强度为 40 kPa。求土的灵敏度。
18. 已知土 1: 液限 $w_L = 50\%$, $I_P = 25$; 土 2: $w_L = 30\%$, $I_P = 6$ 。利用塑性图判别土的类别。(塑性图中 A 线: $I_P = 0.63(w_L - 20)$; B 线: $w_L = 40\%$)
19. 土料室内击实试验数据如表 1-3 所列。试绘出 ρ_d-w 关系曲线, 求最优含水量和最大干密度。

表 1-3

含水量 $w(\%)$	5	10	20	30	40
密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	1.58	1.76	1.94	2.02	2.06

第1章习题解答

1.3.1 问答题解答

1. 【答】土是由地球外壳坚硬整体的岩石风化、剥蚀、搬运、淤积而形成的矿物, 是流体水和砌体的一

种集合体。与其他连续介质的建筑材料比,其工程特性是:压缩性高、强度低、透水性大。

2. 【答】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(各粒组占土粒总量的百分数)来表示,称为土的颗粒级配。根据颗粒大小分析试验成果绘制的曲线,称为颗粒级配曲线,它的坡度可以大致判断土的均匀程度。
3. 【答】土的结构是指由土粒单元的大小、形状、相互排列及其联结关系等因素形成的综合特征。基本类型一般分为单粒结构、蜂窝结构、絮状结构。
4. 【答】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。其主要特征是:成层性、裂隙性等。
5. 【答】土中水分为液态水、固态水、气态水。液态水可分为结合水和自由水;结合水又分为强结合水和弱结合水;自由水又分重力水和毛细水。
6. 【答】① 土的各组成部分的质量和体积之间的比例关系,用土的三相比指标表示,称为土的物理性质指标,可用于评价土的物理、力学性质。
② 直接测定的指标是土的密度 ρ 、相对密度 d_s 、含水量 w ;计算指标是孔隙比 e 、孔隙率 n 、干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 、有效密度 ρ' 、饱和度 S_r 等。
7. 【答】① 土的塑限:土由半固态转到可塑状态的界限含水量叫土的塑限,用 w_p 表示。
② 土的液限:土由可塑状态转到流动状态的界限含水量叫土的液限,用 w_L 表示。
③ 土的缩限:土由半固体状态不断蒸发水分,则体积逐渐减小,直到体积不再缩小时土的界限含水量叫土的缩限,用 w_s 表示。
④ 土的塑性指数:土的液限和土的塑限差值(省去%), $I_p = w_L - w_p$ 。
⑤ 土的液性指数:土的天然含水量和塑限的差值与塑性指数之比, $I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$ 。
8. 【答】 I_p 是土的颗粒组合、矿物成分以及土中水的离子成分和浓度的指标。土颗粒越细、黏土矿物含量越多、土粒表面反离子层中低价阳离子增加, I_p 变大。 I_p 是黏性土分类的标准, $I_p > 17$ 为黏土, $10 < I_p \leq 17$ 为粉质黏土。
9. 【答】土的塑性指数是划分细粒土的良好指标,它能综合反映土的颗粒组成、矿物成分以及土粒表面吸附阳离子成分等方面的特性,但是不同的液限、塑限可给出相同的塑性指数,而土性却很可能不一样。塑性图考虑了塑性指数和液限两个方面,因此对细粒土分类更加合理。
10. 【答】① 用 e 判断砂土密实度的优点:可判别土的密实度,应用方便,同一种土,密砂的孔隙比一定比松砂的小;缺点:无法反映土的粒径级配因素。
② 用 D_r 判断砂土密实度的优点:计入了土的级配因素,理论上完善;缺点:用长颈漏斗测定 e_{max} 或用振动叉和振击金属法测定 e_{min} 受人为因素影响。
11. 【答】土的灵敏度是以原状土的强度与同一土经重塑后的强度之比来表示的,它反映了土的结构性对强度的影响。土的灵敏度愈高,结构性愈强,受扰动后土的强度降低很多,所以在基础施工中应注意保护基槽,尽量减少土结构的扰动。
土的触变性是指黏性土结构受到扰动,强度降低,当扰动停止后,土的强度又随时间而逐渐增大,这种抗剪强度随时间恢复的胶体化学性质,即为土的触变性。
例如:在黏性土中打桩,可利用土的灵敏度,将桩打入;利用土的触变性可知,对打入桩的承载力测试,需满足一定时间间隔要求。
12. 【答】影响土压实性的主要因素:含水量、压实能量、土的颗粒级配、试验条件等。
13. 【答】在一定的压实能量下使土最容易压实,并能达到最大密实度时的含水量称为土的最优含水量,用 w_{op} 表示;相对应的干密度叫最大干密度,用 ρ_{dmax} 表示。
14. 【答】因为含水量小于最优含水量 w_{op} 时,土中水主要是强结合水,颗粒间具有很大的分子引力,阻止颗粒移动,压实比较困难,干密度较小;当含水量适当增大时,土中结合水膜变厚,土粒间的联结

力减弱而使土粒易于移动,压实效果变好,干密度增加;当含水量继续增大超过最优含水量 w_{op} ,出现了自由水,击实时水不易立即排出,阻止土粒靠拢,压实效果下降,干密度又下降。

15. 【答】弱结合水影响土的可塑性,强结合水主要影响土的弹性和抗剪强度。
16. 【答】毛细水是受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水。毛细水存在于地下水位以上的透水土层中,其渗流方向自下而上。毛细水的上升对建筑物地下部分的防潮措施和地基土的浸湿及冻胀等有重要影响;在干旱地区,还可形成盐渍土。
17. 【答】无黏性土和黏性土作为工程中的两大类土,其物理性质差异较大,可归纳如下几个方面。

① 矿物成分:无黏性土一般由原生矿物组成,其化学成分尚未发生变化,只经过了物理风化作用,所以颗粒较粗;而黏性土由次生矿物组成,次生矿物是由原生矿物化学风化后形成的新矿物,化学稳定性差,颗粒较细,特别是黏土颗粒,粒径小于 0.005 mm ,比表面积大,与水作用能力强,能产生一系列复杂的物理化学变化。

② 土的结构:从土的结构上看,无黏性土的结构特征为单粒结构,因为这些较粗的砾石、砂粒颗粒较大,粒间的结合水很少,没有连结力(或仅有微弱的毛细水连结),它们在重力作用下沉积时,往往形成单粒结构;黏性土颗粒较细,其中粉粒在水中下沉碰到已经沉积的土粒时,由于它们之间的吸引力大于其自重,因而土粒将停留在接触面上不再下沉,形成了具有很大孔隙的蜂窝结构;粒径更小(小于 0.002 mm)的黏粒,在水中靠单个颗粒的自重根本不能下沉,只有当悬浮液中掺入了某些电解质,黏粒间的排斥力因电荷中和而破坏时,才凝聚成类似海绵絮状的集合体,并聚合到一定质量时相继下沉,和已沉积的絮状集合体接触,形成孔隙很大的絮状结构。因此,天然状态下的黏性土,通常都具有一定的结构性、触变性和灵敏度。

③ 工程上:无黏性土尤为关注密实度问题,对无黏性土,如果土粒排列越紧密,它们在外荷载作用下,其变形越小,强度越大,工程性质越好;而黏性土,工程中除了密度外,最为关心的是含水量问题,含水量对黏性土的工程性质(如强度、压缩性等)有极大的影响。

当黏性土含水量极高时,土成泥浆,呈黏滞流动的液体。当施加剪力时,泥浆将连续地变形,土的抗剪强度极低。当含水量逐渐降低到某一值,土会显示出一定的抗剪强度,并且在外力作用下,可以塑成任何形状,并不发生裂缝,解除外力后,土仍保持已有的变形而不恢复原状。这些特征与液体完全不同,它表现为塑性体的特征。当含水量继续降低时,土能承受较大的剪切应力,在外力作用下不再具有塑性特征,而呈现具有脆性的固体特征。

④ 定名、定状态:对地基土进行工程分类(定名)时,无黏性土按粒度成分、级配分类。如砂土按 D_r 分为密实、中密和松散三种状态;由于取原状砂样较为困难,工程实践中还广泛采用标准贯入试验、静力触探等原位测试方法来评价砂土的密实度,按标准贯入试验锤击数 N 可分为四种状态,即:松散、稍密、中密和密实。

碎石土根据其骨架颗粒含量的大小和排列情况,锹、镐、挖掘的困难程度,以及钻进的难易性和冲击钻探时钻杆的跳动等等野外鉴别方法判别其密实度,分为密实、中密与稍密。

黏性土则按塑性指数 I_p (处在可塑状态时含水量的变化范围)来定名。塑性指数愈大,土处于可塑状态的含水量范围也愈大。即塑性指数的大小与土中结合水的可能含量有关,亦即与土的颗粒组成、土粒的矿物成分以及土中水的离子成分和浓度等因素有关。从土的颗粒来说,土粒越细,且细颗粒(黏粒)的含量越高,则其比表面和可能的结合水含量越高,因而 I_p 也随之增大。从矿物成分来说,黏土矿物可能具有的结合水量大(其中尤以蒙脱石类土为最大),因而 I_p 也大。

由于塑性指数在一定程度上综合反映了影响黏性土特征的各种重要因素,因此,在工程上常按塑性指数 I_p 对黏性土进行分类。 $I_p > 17$ 时,定名为黏土; $10 < I_p \leq 17$ 时,为粉质黏土。

黏性土按液性指数 I_L 确定其软硬状态, I_L 值越大,土质越软;反之,土质越硬。

⑤ 渗透性及固结问题:无黏性土渗透性大,土粒越粗,越浑圆,越均匀时,渗透性越大。无黏性土固结时所需时间短,一般认为施工完毕则固结基本完成;而黏性土渗透性小,粉质黏土的渗

透系数 $k = 10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$, 黏土 $k < 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。黏土中自由水的渗透受到结合水的黏滞作用产生很大阻力, 只有克服结合水的抗剪强度后才能开始渗流。修建在黏性土地基上的建筑物, 承受荷载作用, 产生沉降所持续的时间往往很长, 自几年至几十年, 甚至更长。

⑥ 抗剪强度: 在工程实践中, 通常可根据工程具体情况来选用剪切方法及相应的抗剪强度指标。例如, 对土层较厚、渗透性较小、施工速度较快的工程, 它的施工期和竣工期可采用 UU 试验 (不固结不排水剪) 或 CD 试验 (固结排水剪) 的强度指标。在使用期中一般采用固结不排水强度指标等等。而对于无黏性土, 它只可能有一种剪切方法, 那就是排水剪。

⑦ 抗震性: 在发生地震时 (也包括车辆行驶、机器振动、打桩以及爆破等), 粉、细砂土, 特别是饱和松散的粉、细砂, 极易发生液化。因为地震作用使饱和松砂趋于密实 (剪缩性), 而这些粉、细砂的透水性并不很大, 使孔隙水一时间来不及排出, 从而导致孔隙水压力上升, 有效应力减小。如果在周期性荷载作用下, 积聚起来的孔隙水压力等于总应力时, 有效应力就变为零, 没有黏聚力的砂土抗剪强度就完全丧失, 处于没有抵抗外荷能力的悬浮状态, 这种现象工程中称为砂土液化。

而对于黏性土, 即使在动荷载作用下, 孔隙水压力积聚上升等于全部总应力, 抗剪强度 τ_f 也不会丧失为零, 因为它还有黏聚力, 不具备液化的内在条件。粗粒砂土及砾、碎石土, 由于透水性好, 孔隙水压力易于消散, 也不会产生液化。

⑧ 冻胀性: 冻胀现象常发生在粉砂、粉土、粉质亚黏土和亚砂土中, 因为冻胀与水分的迁移积聚有关。上述土类, 具有较显著的毛细现象, 毛细水上升高度大, 且速度快, 具有较通畅的水源补给通道, 如果冻结区附近地下水位还较高的话, 再加上冬季持续负温影响, 地基土就将发生比较强烈的冻胀现象, 使建筑物受到损害。对于黏性土, 它的孔隙很小, 对水分迁移时的阻力很大, 水源补给通道不是很通畅, 所以其冻胀性较上述土类小。而对于砂砾等粗颗粒土, 由于没有或具有很少量的结合水, 孔隙中自由水冻结后, 不会发生水分的迁移积聚, 同时砂砾的毛细现象不显著, 因而也不会发生冻胀。所以在工程实践中常采用换填砂砾的办法, 以防治地基土冻胀。

⑨ 土坡稳定分析: 无黏性土坡, 由于黏聚力 (也称内聚力) $c = 0$, 所以可以假设其滑动面为平面; 而黏性土坡, 则视具体情况将滑动面分为坡脚圆、坡面圆和中点圆, 来进行稳定性分析。后者比前者分析要复杂得多。

⑩ 地基处理: 对于无黏性土的不良地基处理时, 一般是通过振动或挤密方法, 使土体的孔隙减少, 强度提高。必要时, 在振动挤密的过程中, 回填砂、砾石、灰土、素土等, 与地基土组成复合地基, 从而提高地基的承载力, 减少沉降量。对于饱和的软黏土地基, 则主要是采用排水和预压的方法, 使其固结度提高, 抗剪强度增长。工程实践中的天然地基预压、砂井预压、塑料排水板预压、降水压等等, 均是处理饱和软黏土的常用方法。

综上所述, 无黏性土和黏性土物理性质上的差异, 带来了工程性质上的一系列区别。在工程实践中, 我们要充分了解这两大类土物理性质以及工程性质, 以便更好地解决工程实践中的问题。

18. 【答】液限和塑限的差值, 称为塑性指数 I_p , 即: $I_p = w_L - w_p$, 土的塑性界限也称为稠度界限, 因为液限 w_L 是土从流动状态变为可塑状态的界限含水量, 塑限 w_p 是从可塑状态变为半固体状态的界限含水量; 它们的差值正好是黏性土处于可塑状态的上、下限值, 所以 I_p 表示了黏性土处在可塑状态时含水量变化的范围, 是衡量土的可塑性大小的重要指标。

塑性指数 I_p 对地基土工程性质的影响, 可从下面几个方面来讨论:

① I_p 对地基土物理、化学性质的影响

由于黏粒部分含有黏土矿物颗粒和有机质, 所以土中黏粒含量越高, 土的可塑性就越大, 即 I_p 越大。此外, I_p 也与黏土矿物的亲水性和黏粒含量 (0.002 mm) 有关。塑性指数 I_p 与黏粒含量呈近似直线关系。直线的斜率称为活性指数 A_c 。

黏粒部分矿物成分不同, 其 I_p 和 A_c 也就不同。根据活性指数 A_c 的大小, 可以划分为低活性黏性土 ($A_c < 0.75$), 中等活性黏土 ($A_c = 0.75 \sim 1.25$) 和高活性黏土 ($A_c > 1.25$)。通常, 在工程上, 塑性大的土, 它的干缩和湿胀性也大, 例如钠蒙脱土, 其塑性指数 $I_p = 656$, 有试验研究