

土力学与地基工程

史如平 主编
韩选江



上海交通大学出版社

土力学与地基工程

史如平 主编
韩选江

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书是作者在多年从事本课程教学经验的基础上,结合新规范的实施编写而成的。

本书内容包括土的工程特性、土的渗透性、土的抗剪强度、地基应力、土压力、土坡稳定分析、工程地质勘察、浅基础、桩基础和地基处理技术等方面。

本书各章内容翔实,实用性强,且深入浅出,概念交待严密清晰,便于学生掌握要领,融会贯通,可作高等院校土木建筑类专业本科及专科教材,并可供土木工程建筑的广大工程技术人员参考使用。

土力学与地基工程

出 版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 江苏太仓印刷厂

开 本: 850×1168 (毫米)1/32

印 张: 15

字 数: 401000

版 次: 1990年5月 第一版

印 次: 1990年6月 第一次

印 数: 1—12350

科 目: 221—303

ISBN 7-313-00315-3/TU·4

定 价: 5.45 元

前 言

本书主要是根据全国高等院校土木(结合水利)类专业对土力学及基础工程的编写大纲要求,结合新的国家标准《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)和专业标准《建筑地基处理技术规范》(征求意见稿,1989年6月),并参考了近年来在该领域的进展,吸收了各地区的工程经验和有关兄弟院校的教学经验,经分工编写、集体讨论而定的。

本书着重介绍了土力学的基本理论,增加了一定量实用性内容如常用的基础设计方法和有效的地基处理技术,还增添了渗透理论、概率方法和计算机程序等方面内容。

本书由浙江工学院史如平教授和南京建筑工程学院韩选江副教授主编;同济大学叶书麟教授主审,高大钊教授审查了第八章。合肥工业大学方世熙副教授参加了编写大纲的制定。

全书由史如平和孙启良统稿。

编写分工为:韩选江、史如平写绪论,韩选江编写第一、七章;江西工业大学李皖路、曹刃与张景德编写第二、三章;合肥工业大学王国体、邹越强编写第四、五章;史如平编写第六、八章;浙江工学院樊良本编写第九、十章;安徽建筑工业学院夏鹭平编写第十一章;上海交通大学孙启良编写第十二章;史如平与陈禹编写第十三章。

史如平、王国体、夏鹭平分别编写了附录 I、II、III。

本教材采用国际(SI)制单位。

本书力求理论密切联系工程实际,文字简明,深入浅出,重点突出,并尽可能反映国内外先进经验。书中附有例题以及习题的答案,以便于自学。本书适用作土木、水利类专业的教材,也可供工程技术人员参考。

限于编者水平，谬误之处敬请读者批评指正。

史如平

1990年3月于上海

绪 论

本书包括两门学科的内容，即土力学与地基工程，后者是基础工程学与地基处理技术的总称（Geotechnical and Foundation Engineering）。

本课程属技术基础课，是一门边缘性学科。土力学是力学的一个分支；地基工程却涉及结构设计和施工技术。它所涉及的近邻学科很多（弹性理论、塑性理论、水力学及地下水动力学、材料力学、结构力学、工程地质和水文地质学、勘察和土工试验技术等），它在土木、水利类等有关专业中占有重要的地位。

1. 土力学研究的对象

土力学是研究土的一门分支学科，是为解决工程中有关土（或岩土）的问题。主要研究在各种应力下土体的性状，如土体的应力应变关系，土的固结、变形、强度，土体稳定以及与渗透有关的问题。土力学还研究土随时间的流变性以及触变问题。

本课程主要阐述土力学的基本原理及其应用，土的工程性质和有关勘察的基本知识，以及土的一些试验技术原理和土工指标取值方法等内容。

2. 地基工程研究的对象

土力学只是研究有关土的自然的以及工程的特性，以使工程人员掌握土的规律进行正确的设计和施工。

随着工程建设（如高层建筑、地下工程、大型水利工程和海洋工程）的发展，往往需要进行地基的土质改良及采用各种形式的基础以满足上层建筑和地下建筑的要求。

建筑物荷载都要通过基础将力传递到其下面（或周围）的地基上，并满足上层建筑对沉降、稳定的要求。

基础作为地下的结构物（或其一部分），首先其本身的强度、刚度和稳定性要满足要求。

地基包括基础下的土层或岩层，它分为持力层（直接承受基础传来的荷载的土层）及其下面的下卧层（受荷载影响的土层），它们都要满足强度和变形的要求。

地基-基础-上层建筑是密切相关的整体。一些建筑物的失效（建筑物开裂、严重倾斜，甚至失稳和倒塌），常由于对地基土的性状缺乏了解或由于地基工程设计不当所引起。此外，由于地基（或基础）方面的费用较大，一般占建筑总费用的8~30%（对很差地基可能更高），因而工程人员也应对此予以极大的关注，不但对地基处理（或深基础）的技术可能性，还要对工程的经济性进行考虑。

地基工程的研究对象就是为了选取最合理的地基型式和基础类型，进行正确的设计和施工，并尽可能利用天然土层作为持力层。

3. 本学科的进展

自Terzaghi（1925年）的《土力学》专著问世以来，土力学已开始成为一门独立的学科。自1936年开始至今已召开了12届国际土力学和基础工程学术会议，国内也专门召开过5届土力学和基础工程学术会议及2届全国地基处理学术会议。由于生产的发展，海洋土力学、土动力学，以及深基础技术（地下连续墙、沉井和顶管工程）和地基处理技术得到很好发展，在复杂地基上建造了巨型、大型的工程建筑物。我国在沿海软土地区利用大口径钻孔桩（或墩）已能建造40~50层的高层建筑物；已建造了高度在100m以上的土坝；自70年代初起国内已发展了多种地基处理技术。如在宁波地区的极软土上利用砂井方法建造了26m高的土坝，上海宝山钢铁厂的矿石堆场利用挤密砂桩解决了在软土区的高堆载（ 350 kN/m^2 ）问题，其他处理方法也大量地应用于房屋建筑、铁道建设、水利、港口等工程。

目 录

第一章 土的工程特性	(1)
1.1 土的形成和组成	(1)
1.2 粒度成分	(7)
1.3 三相指标	(11)
1.4 土的状态特征	(17)
1.5 压实原理	(25)
1.6 地基土的分类	(26)
习题	(33)
第二章 土的渗透性	(36)
2.1 渗透理论	(37)
2.2 渗透系数的确定	(43)
2.3 渗透作用对土的影响	(49)
习题	(57)
第三章 土的抗剪强度	(59)
3.1 有效应力原理	(59)
3.2 土的强度理论	(67)
3.3 土的剪切试验	(74)
3.4 应力路径法	(91)
3.5 振动作用下土的强度	(95)
习题	(100)

第四章 地基应力与变形计算	(103)
4.1 基底附加压力的计算.....	(104)
4.2 地基中附加应力的计算.....	(108)
4.3 侧限压缩条件下土的应力-应变关系.....	(118)
4.4 地基最终沉降量的计算方法.....	(122)
4.5 饱和土体的渗透固结理论.....	(137)
4.6 地基的沉降分析和观测.....	(146)
习题.....	(150)
第五章 土压力	(152)
5.1 Rankine土压力理论.....	(154)
5.2 Coulomb 土 压力理论.....	(158)
5.3 特殊情况下的土压力.....	(163)
5.4 挡土墙设计原理.....	(167)
5.5 埋管土压力.....	(170)
习题.....	(173)
第六章 土坡稳定分析	(175)
6.1 土坡失稳原因分析.....	(175)
6.2 无粘性土土坡的稳定分析.....	(177)
6.3 粘性土土坡的稳定分析.....	(178)
6.4 简化的 Bishop 法.....	(182)
6.5 复合滑动的土坡稳定分析.....	(186)
6.6 传递系数法.....	(187)
习题(附答案).....	(189)
第七章 工程地质勘察	(191)
7.1 勘察工作规划.....	(191)

7.2 勘察方法·····	(194)
7.3 勘察成果的应用·····	(199)
第八章 概率方法的应用 ·····	(210)
8.1 土性指标统计·····	(211)
8.2 破坏概率·····	(218)
8.3 决策方法·····	(231)
习题·····	(234)
第九章 基础工程概论 ·····	(237)
9.1 地基基础的设计原则·····	(237)
9.2 浅基础的类型和选择·····	(240)
9.3 基础埋置深度·····	(249)
9.4 地基承载力·····	(252)
9.5 减少软弱地基上建筑物的不均匀沉降措施·····	(267)
习题·····	(271)
第十章 扩展基础和联合基础设计 ·····	(273)
10.1 扩展基础的设计假定 ·····	(273)
10.2 按承载力要求确定基底面积 ·····	(273)
10.3 斜坡上的基础 ·····	(278)
10.4 扩展基础的构造和结构计算 ·····	(279)
10.5 联合基础的刚性设计方法 ·····	(285)
习题·····	(296)
第十一章 地基梁板结构计算 ·····	(299)
11.1 地基的线性计算模型 ·····	(299)
11.2 地基变形参数 ·····	(305)
11.3 柱下条形基础的简化计算 ·····	(307)

11.4 Winkler地基上梁的经典解答	(311)
11.5 柱下交梁基础的荷载分配	(319)
11.6 Winkler地基梁的矩阵位移法	(322)
11.7 筏板基础设计	(332)
习题.....	(347)
第十二章 桩基础	(350)
12.1 桩的种类	(351)
12.2 单桩竖向承载力	(355)
12.3 桩基础设计	(372)
12.4 桩的水平承载力	(384)
12.5 钻(挖)孔墩	(392)
习题.....	(397)
第十三章 地基处理技术	(400)
13.1 垫层法(换垫法)	(401)
13.2 强夯法	(406)
13.3 振动水冲法	(411)
13.4 砂井堆载预压法	(418)
13.5 深层搅拌法	(431)
13.6 其他地基加固方法	(435)
参考文献	(439)
附录 I 均质土坡稳定分析程序(简化Bishop方法)	
.....	(441)
附录 II 地基沉降量计算程序(分层总和法)	
.....	(445)
附录 III 地基梁计算程序(矩阵位移法)	(450)

第一章 土的工程特性

1.1 土的形成和组成

整个地球表面在地质年代中经历着剥蚀作用、沉积作用、成岩作用和地壳运动这样一个不断的循环过程。即地球表面的岩土体不断地被风化、剥蚀而趋于平缓；同时地壳内又不断地发生升降运动和水平运动而形成新的地貌。

1. 土的形成过程

沉积物的形成都经历了风化、剥蚀、搬运和沉积几个过程。

风化过程是岩石经受物理变化和化学变化的破坏过程。

暴露在大气中的岩石受到温度和湿度变化的影响，其体积也随之发生胀缩变化。当胀缩不均时，岩石出现裂隙。这些裂隙又进一步受到风、霜、雨、雪的侵蚀及生物活动的影响而剥蚀岩体，形成的岩块不断地崩解脱离母体，从而形成散粒状土。这种物理风化作用只改变颗粒形状和大小，并不改变颗粒的矿物成分。

经物理风化后的岩石碎块，与水、氧气和二氧化碳接触产生一系列的化学变化，如水解、氧化、碳酸化、阳离子交换作用等，形成了颗粒更细的细粒土，还将一些母岩矿物成分生成了溶解于水的化合物以及粘土矿物。这就是化学风化作用。

剥蚀过程是风化后的岩石碎块在流水、波浪、地下水和风、霜、雨、雪等作用下的进一步加工改造和不断减小颗粒的过程。它以冲击、碰撞、研磨以及化学侵蚀等方式对颗粒的表面和形状不断进行加工。

搬运过程是由于各种自然力（重力、水流、海洋流、波浪、风力和冰川等）的作用，将经风化和剥蚀后的岩土碎粒搬运到其他地方去。它的主要作用是分选和磨蚀。

沉积过程是被搬运的土颗粒在重力及其他外力作用下转变其悬浮状态并在一定的环境中沉积下来形成土粒集合体的过程。如江河三角洲地带形成的成层土是周期性沉积的结果。

按地质成因类型可把土分为残积、坡积、崩积、洪积、冲积、风积、湖积、海相沉积、冰碛、火山堆积和人工堆积等。此外，还有一些性质不同的特殊土。它们是由于形成时的条件与环境不同而具有特殊的成分和结构，从而表现出特殊的性质。如软土、湿陷性黄土、膨胀土和红粘土等。现在地球表层的大多数土是在第四纪（Q）地质年代中形成的。

从硬质母岩到形成土的时间相当长，取决于气候、地貌、母岩成分和生物等因素。但是，从风成的、冰川的和火山沉积物形成的新沉积土，有时可不超过 100 年时间。

2. 土的沉积历史

研究沉积物的历史能够揭示有关它的大致成分、结构和工程性质方面的许多问题。土的工程性质基本取决于母岩的成分、形成时的风化作用类型、沉积物是残积的还是被搬运过的、被搬运土的运动和沉积方式、土沉积物经历的应力历史、孔隙水的化学成分以及潜水面位置的变化。

在沉积物沉积后至人类活动改变它们以前的一段期间里，沉积物可能被一种或多种沉积后的过程作用而引起变化。这些过程的性质可能是物理的、化学的和生物的。如干燥、风化、固结作用与压密作用、胶结作用、再结晶作用，成岩作用；以及淋溶、离子交换和溶解作用以及其他地质作用等。

在长期的地质作用过程中产生的土的节理、裂隙、薄弱平面、粘土缝和土体中的内应力等都可能影响着土的工程性质。

对残积土的形成过程和其特征的分析可预测是否会有粘土含量高的土层，从而推断粘土矿物的种类，找出施工取料场地和估计其原生母岩的深度。

如果已知沉积后的变化的具体情况（如沉积年代和自然地理条件的变迁等），那么，可对目前土的性状和今后可能发生的性质上的改变作出判断。化学环境的变化可能会引起细粒土的粒间力的改变，导致原来稳定的颗粒排列变成亚稳态结构，当受到物理性干扰时，容易产生沉陷。在任何土中发现的匀质和非匀质状态都与它们形成的方式和形成后的历史有关。

沉积物所经受的应力历史特别重要，因为土体的变形和强度与过去的应力状态关系很大。为此，在设计和施工时，应对粘性土的先期应力状态和固结程度加以研究。

3. 三相组成

绝大多数非饱和土体是由固相、液相和气相的三相物质成分所组成。三相成分反映了土的散粒性。任何土体的组成包括了下列的几种（或全部）成分。

(1) 固相成分

1) 原生矿物

它是由母岩碎裂形成的岩屑，颗粒一般呈粒状，其直径很少有小于0.005mm的。颗粒的形状和表面粗糙度对土的工程性质有一定影响。

2) 粘土矿物

它是由母岩经化学风化（也包括水热作用）后形成的一种或多种结晶质微粒群，主要是呈片状的水化硅铝酸盐。其主要尺度很少超过0.005mm；在某些情况下，只有百分之几微米厚，故具有很大的比表面积（表1-1），以致于相互间的物理-化学作用和土中水-电解液之间的相互作用可很大。

粘土矿物有晶态和非晶态两种构造。晶态构造有固定的成分和确

表1-1 主要粘土矿物的物理特性

粘土矿物	形状	直径	厚度	比表面积 m ² /g
蒙脱土	薄片状	0.1~1μm	30Å	800
伊利土	板状		200~300Å	80
高岭土	六角形板状	0.3~4μm	0.05~2μm	15

注：纯砂的比表面积为 $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{g}$

定的形状，图1-1为最常见的3种粘土矿物。非晶态构造没有固定的成分和确定的形状，并表现出各式各样的物理性质。

高岭土是由水铝石片叠置在二氧化硅片上形成的2层单元体。单元体间由很强的氢键和次生化合价力联结，水分子不能进入，它是最不亲水的稳定矿物。

蒙脱土是由水铝石片夹于两个二氧化硅片间构成的3层单元体。单元体间是由次生化合价力和可交换的离子联结，由于联结很弱，水分子可进入单元间引起矿物膨胀，所以它是最亲水且膨胀性很强的不稳定矿物。

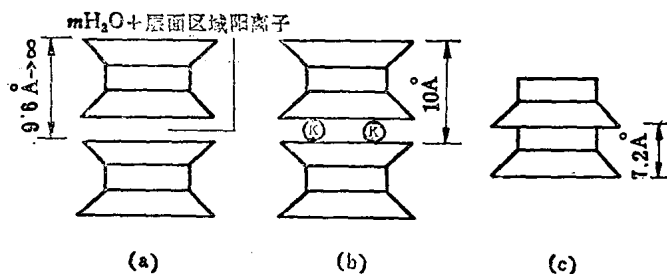


图1-1 粘土矿物构造单元示意图
(a)蒙脱土；(b)伊利土；(c)高岭土

伊利土是由次生化合价力和钾离子联结很稳定的3层单元体组成。在其硅氧晶片中， Si^{4+} 可被 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 所取代，因而相邻晶胞间将出现若干 K^+ 以补偿晶胞中正电荷的不足，所以伊利土的结晶构造不如蒙脱土那样活动，其亲水性也不如蒙脱土。

3) 粒间胶结物

这是在某些土粒或集合体表面上沉积着的胶结物（如方解石、氧化铁或硅石）。它来源于地下水带来的溶解盐类，或是由溶滤引起的矿物分解的残留物。它加强了粒间联结，增加了土体的抗剪强度，并减小了土的压缩性。

4) 有机质

它来源于动植物遗体，一般集中在表层土中；但在溶滤性的透水土中，可把它带到深部土层。酸性很强条件下生成的腐殖质对水泥凝固可造成严重的影响。高含量有机土对土的强度和压缩性也有较大影响，使土的工程性质变坏。

(2) 液相成分

1) 水

天然土体中所含的液态水可分为结合水和自由水。

①结合水。它借电分子引力吸附在带负电荷的土粒表面，形成电场（见图1-2中的双电层）。带正电荷的氢原子 H^+ 和带负电荷的氧原子 O^{--} （图1-2（a））组成的水分子（极性分子）受该电场吸引呈定向排列，形成结合水膜。依其与土颗粒表面结合的程度不同分为吸着水（强结合水）和薄膜水（弱结合水）两种。

吸着水。极其牢固地吸附在土粒表面，性质接近于固体，不传递静水压力，也没有溶解盐类的能力，分布在双电层的固定层内。

薄膜水。在吸着水外围形成的一层水膜，仍不能传递静水压力，常呈半固态或塑性状态，分布在双电层的扩散层。

②自由水。分布在电分子引力以外并受重力影响的普通水，能传递静水压力和溶解盐类。依其所受作用力的不同又分为重力水和毛细水。

重力水。在位于地下水位以下的土孔隙中的水受重力作用，它能对土体产生浮力，在透水的土层中，能在水力梯度下发生流动。

毛细水。它位于地下水位以上的土孔隙中。水-气界面上的土的孔隙中存在着表面张力，由于表面张力作用，地下水会沿着不规则的毛细孔隙上升。在地下水位以上形成的毛细饱水区，在地基或土体稳定

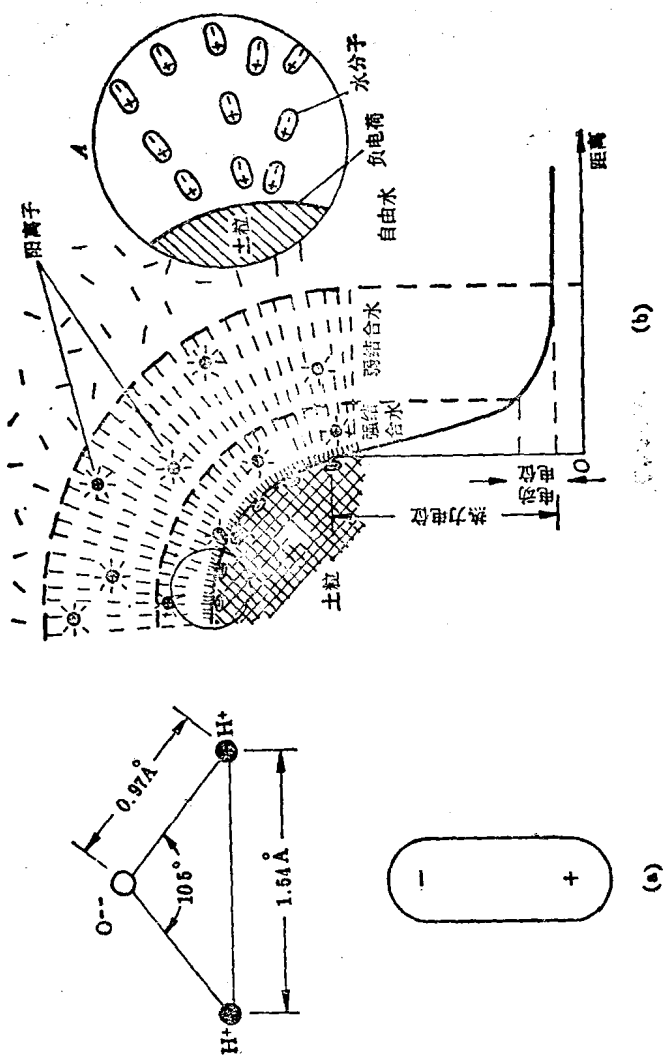


图1-2 粘土矿物和水分子的相互作用

(a)极性水分子示意图, (b)土粒表面的结合水膜