



高等学校**应用型本科**规划教材

土质学与土力学

主 编 赵明阶
副主编 冯忠居



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校应用型本科规划教材

Tuzhixue Yu Tulixue
土质学与土力学

主 编 赵明阶

副主编 冯忠居

人民交通出版社

内 容 提 要

本书根据高等学校土木工程专业、道路桥梁与渡河工程专业及其相关专业应用型本科层次的教学要求而编写,系统地介绍了土质学与土力学的基本原理和分析计算方法,内容包括绪论、土的物理性质及工程分类、土中水及其渗透性、地基土中的应力计算、地基变形计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定计算、地基承载力以及土的动力特性等共十章,每章均附有典型例题分析以及思考题和习题。

本书主要作为应用型本科院校学生、继续教育学院本专科学生和高职高专院校专升本学生的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土质学与土力学/赵明阶主编. —北京:人民交通出版社, 2006.12

ISBN 978-7-114-06263-6

I. 土... II. 赵... III. ①土质学—高等学校—教材②土力学—高等学校—教材 IV. ① p642.1 ② TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第137370号

高等学校应用型本科规划教材

书 名: 土质学与土力学

著 者: 赵明阶

责任编辑: 毛 鹏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 18.5

字 数: 451 千

版 次: 2007年1月 第1版

印 次: 2007年1月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06263-6

定 价: 30.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版

高等学校应用型本科规划教材

编 委 会

主任委员：张起森

副主任委员：(按姓氏笔画序)

万德臣	马鹤龄	王 彤	刘培文
伍必庆	李香菊	张维全	杨少伟
杨渡军	赵丕友	赵永平	章剑青
倪宏革			

编写委员：(按姓氏笔画序)

于吉太	于少春	王丽荣	王保群
朱 霞	张永清	陈道军	赵志蒙
查旭东	高清莹	曹晓岩	葛建民
韩雪峰	蔡 瑛		

主要参编院校：长沙理工大学
重庆交通大学
华中科技大学
黑龙江工程学院
北京交通干部管理学院
鲁东大学

长安大学
东南大学
山东交通学院
内蒙古大学
辽宁交通高等专科学校

秘 书 组：毛 鹏 岑 瑜 (人民交通出版社)

前 言

本书是根据2005年11月在北京召开的“21世纪交通版·高等学校应用型本科规划教材编写研讨会”的会议精神和编写要求编写而成,主要适用于土木工程专业、道路桥梁与渡河工程专业及其相关专业。在编写过程中为了使本教材能更好地满足应用型本科学生、成人教育本科层次学生的教学要求,吸取了近年来部分院校《土质学与土力学》教材的优点,并参考了国内外近年来出版的比较成熟的教科书及有关文献资料和工程资料。

本教材由重庆交通大学赵明阶教授担任主编,由长安大学冯忠居教授担任副主编,长安大学魏晋以及重庆交通大学的吴文雪、林军志、李洁等都参与了编写工作。各章节编写的分工如下:

- | | |
|-----|---------|
| 赵明阶 | 第一、二、十章 |
| 魏 晋 | 第三、五章 |
| 李 洁 | 第四章 |
| 吴文雪 | 第六章 |
| 林军志 | 第七章 |
| 冯忠居 | 第八、九章 |

土质学与土力学是一门理论性和实践性都很强的课程,考虑到应用型本科的特点,本书在编写过程中注意理论性内容简明扼要,理论与实际相结合,并加强了对应用性内容的阐述,希望有助于提高学生解决实际工程问题的能力。对于部分较难的理论推导过程均以小贴示的方式在书中给出,可供部分希望加强理论基础的学生深入学习。

为便于自学,每章中都给出了必要的典型例题分析、习题和思考题,习题均附有答案。最后还给出了必要的参考文献,可供教师备课和学生深入学习时参考。

限于编者的水平,书中缺点和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2006年9月于重庆交通大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 土质学与土力学.....	1
第二节 土质学与土力学的发展简史及现状.....	3
第三节 土质学与土力学的研究内容与方法.....	5
第四节 本课程的学习要求.....	6
思考题.....	6
第二章 土的物理性质及工程分类	7
第一节 土的生成与特性.....	7
第二节 土的三相组成.....	11
第三节 土的物理性质指标.....	17
第四节 土的物理状态指标.....	24
第五节 地基土的工程分类.....	30
思考题.....	38
习题.....	39
第三章 土中水及其渗透性	40
第一节 概述.....	40
第二节 土的渗透性.....	40
第三节 二维渗流和流网.....	50
第四节 渗透作用对土的影响.....	54
思考题.....	58
习题.....	58
第四章 地基土中的应力计算	59
第一节 概述.....	59
第二节 自重应力的计算.....	60
第三节 基底压力和基底附加压力计算.....	63
第四节 地基附加应力的计算.....	65
第五节 影响土中附加应力分布的因素.....	82
第六节 有效应力原理的概念及计算.....	83
思考题.....	85
习题.....	85
第五章 地基变形计算	87
第一节 概述.....	87

第二节	室内压缩试验及压缩性指标	88
第三节	常用的地基沉降计算方法	91
第四节	应力历史对地基沉降的影响	102
第五节	关于地基最终沉降量计算方法的讨论	109
第六节	饱和土体渗流固结理论	111
思考题	.....	126
习题	.....	126
第六章	土的抗剪强度	129
第一节	概述	129
第二节	库仑强度条件	130
第三节	摩尔库仑强度理论	131
第四节	抗剪强度指标的测定方法	137
第五节	饱和粘性土的抗剪强度	146
第六节	无粘性土的抗剪强度	150
第七节	影响抗剪强度的主要因素	153
思考题	.....	154
习题	.....	155
第七章	土压力计算	157
第一节	概述	157
第二节	静止土压力计算	159
第三节	朗金土压力理论	162
第四节	库仑土压力理论	168
第五节	特殊情况下的土压力计算	178
第六节	埋管土压力	191
思考题	.....	195
习题	.....	196
第八章	土坡稳定计算	198
第一节	概述	198
第二节	无粘性土土坡的稳定性分析	199
第三节	粘性土土坡的稳定性分析	201
第四节	复合滑动面稳定性分析	216
第五节	饱和粘性土土坡稳定性分析的讨论	219
思考题	.....	222
习题	.....	222
第九章	地基承载力	224
第一节	概述	224
第二节	地基的破坏形式	225
第三节	地基的临塑荷载和塑性荷载	227

第四节 地基极限承载力计算.....	232
第五节 按规范方法确定地基容许承载力.....	243
思考题.....	247
习题.....	247
第十章 土的动力特性.....	249
第一节 概述.....	249
第二节 土的压实性.....	251
第三节 土的动强度和变形特性.....	254
第四节 砂性土液化机理.....	262
第五节 砂性土地基液化判别.....	267
第六节 砂性土地基液化程度等级划分.....	275
思考题.....	277
参考文献.....	278

第一章 绪 论

本章知识点

1. 土质学与土力学的定义；
2. 土质学与土力学的关系；
3. 土质学与土力学的发展简史；
4. 土力学的研究内容和研究方法。

第一节 土质学与土力学

土是地壳表层岩体经强烈风化（包括物力、化学及生物风化作用）、搬运、沉积等地质作用的产物，是各种矿物颗粒的集合体，颗粒间的联结强度远比颗粒本身小。一般情况下，颗粒间有空隙，空隙中有水和气体。因此，土是一种由矿物颗粒、液体水和空气组成的孔隙松散介质体。

由于人类活动大多在地球表层，故土与工程建设有着密切的关系（图 1-1）。在土木工程中遇到的各种与土有关的问题，归纳起来可以分为三类：

- （1）作为建筑物的地基，如修建房屋、桥梁、道路、水工结构等时，可用土作为地基；
- （2）作为建筑材料，如可用土来填筑路基、堤坝以及其他土工构筑物；
- （3）作为建筑物周围介质或环境，如在修建运河、渠道、隧道、挡土墙、地下建筑、地下管线等构筑物时，土可被用来作建筑物的周围介质或保护层。

由于土是孔隙松散介质体，具有可压缩性大、强度低等特性，因此不管哪一类情况，研究弄清土的这些力学性质对于保证建筑物的安全运行是非常重要的，直接关系到工程的经济合理和安全使用。

土质学是地质科学的一个分科，是研究土的物质组成、物理—化学性质、物理—力学性质，以及它们之间的相互关系，并进一步探讨在自然或人为的因素下，土的成分与性质的变化趋势以及如何利用这种趋势。土质学在发展过程中形成了普通土质学、区域土质学和土质改良学三个分支，其中普通土质学研究广泛分布的各种典型土类的成因、成分、结构、构造及其工程性质的形成规律，是整个土质学的理论基础。本教材主要介绍普通土质学的内容。

土力学是利用力学知识和土工试验技术来研究土的特性及其受力后强度和体积变化规律的一门学科。换句话讲，它是以力学为基础，研究土的渗流、变形和强度特性，并据此进行土体的变形和稳定计算的学科。一般认为土力学是力学的一个分支，但是由于土力学研究的

对象——土，是由矿物颗粒组成的松散体，具有特殊的力学特性，与一般的弹性体、塑性体、弹塑性体、流体有较大区别，因此把一般连续介质力学的规律运用到土力学时，还要结合土体本身的特殊性，运用专门的土工试验技术来研究土的物理力学特性，以及土的强度、变形和渗透等特殊的力学特性。在与生产实践的结合过程中，土力学又产生了不同的分支学科，如冻土力学、海洋土力学、环境土力学、土动力学、月球土力学等，对区域性土和特殊类土（例如湿陷性黄土、红粘土、胀缩土、软土、盐碱土、污染土、工业废料等）的研究也不断深入。

土质学与土力学是关系密切的两门学科，都是学习“基础工程”、“地基处理”等专业课程的理论基础，是为地基基础工程的正确实践服务的。准确划分土类、评价与改善土的性状是两门学科的共同任务。土木工程的发展对两个学科不断提出新的要求，并促使理论的发展和完善、研究方法和手段更精确先进，而土木工程实践又是检验这些理论方法正确性的唯一标准。在发展过程中两个学科相互渗透，相互促进，土质学的研究成果为土力学研究土的物理力学性质提供了解释和指导，土力学研究中的现代测试技术和方法也推动了土质学的发展。

小贴士



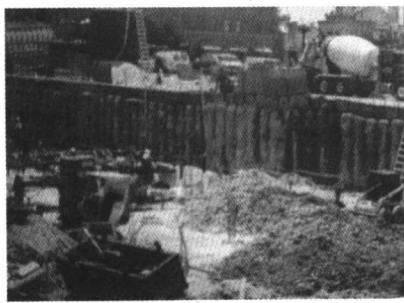
著名的比萨斜塔



砂土地基液化引起建筑物倾斜



桥基沉降引起桥面断裂



基坑开挖与地下连续墙

图 1-1 土与人类工程活动的关系

第二节 土质学与土力学的发展简史及现状

土力学是一门古老而又年轻的科学。为了生活的需要和生产的发展,人类很早就懂得利用地壳表层的风化产物——土,作为建筑物的地基和建筑材料。古代许多伟大的建筑,如公元前2世纪修建的万里长城,随后的南、北大运河,黄河大堤以及宏伟的宫殿、寺院、宝塔都有坚固的地基和基础,并长时期经历地震、强风化的考验保存至今。隋朝所建赵州石拱桥把桥台砌筑在密实的粗砂层上,基底压力约为 $500\sim 600\text{kN/m}^2$,至今沉降很小。公元989年建造开封开宝寺木塔时,预见到塔基会出现不均匀沉降,施工时特意做成斜塔,沉降稳定后塔身自动复正。世界上著名的建筑物如比萨斜塔、金字塔等的修建,也都说明了当时人们在工程实践中积累了丰富的有关土的知识经验。但与其他科学一样受到当时生产规模和科学水平的限制,人们对于土的特性的认识还停留在经验积累的感性认识阶段。

18世纪产业革命后,城市、道路、水利建设的发展总结了不少成功的经验,也提出了大量与土力学有关的问题,特别是一些工程事故的教训,迫使人们在经验积累的基础上寻求理论解释。如17世纪末叶欧洲各国大修城堡推动了建筑学的发展,其中城墙背后土压力问题引起了人们的关注。许多工程技术人员发表了计算土压力的公式,这为法国科学家库仑(Coulomb, 1773)提出著名的土压力理论公式和土的抗剪强度公式打下了基础。1856法国工程师达西(Darcy)根据对两种均匀砂土渗透试验结果提出的渗透定律,创立了公式。1857美国学者朗金(Rankine)借助土的极限平衡分析建立了朗金土压力理论,该理论与库仑土压力理论共同形成了古典土压力理论。1885法国学者布辛奈斯克(Boussinesq)提出的表面竖向集中力在弹性半无限体内部应力和变形的理论解答,目前已经成为地基应力计算的主要方法。总之欧洲工业革命开启了土力学的理论研究,这一时期人们对某些个别问题作了理论探讨。但都是局部性的单独突破,没有形成统一的理论和独立的学科,因此该时期属于经验积累基础上的理论提高阶段。

20世纪初期以来,随着生产建设深度和广度的不断增大,建筑物的规模更大,所遇到的工程地质条件更复杂,迫使人们对土的性质作全面、系统的理论和实践研究。特别是20世纪初出现的一些重大的工程事故,如德国的桩基码头大滑坡、瑞典的铁路坍方、美国的地基承载力问题等,进一步激发了土力学的研究热潮。世界不少国家纷纷成立专门的土工研究机构,对若干具有普遍性的事故做了重点调查勘探和试验,对土的性质、地基基础设计施工进行了深入的研究,发表了许多有关的理论著作。普朗德尔(Prandtl, 1920)发表了地基滑动面的数学公式,彼德森(Peterson, 1915)提出,以后又由费伦纽斯(Fellenius, 1936)、泰勒(Taylor, 1937)等发展了的计算边坡稳定性的圆弧滑动法等,就是这一时期的重要成果。尤其是美国土力学家太沙基(Terzaghi, 1925年)发表第一本《土力学》著作,标志着土力学作为一门独立的学科问世了。1932年前苏联学者崔托维奇出版了《普通土力学》教程,对土力学作了系统叙述。太沙基把当时零散的有关定律、原理、理论等按土的特性加以系统化,从而形成一门独立的学科。他指出土具有粘性、弹性和渗透性,按物理性质把土分成粘土和砂土,并探讨了它们的强度机理,提出了一维固结理论,建立了有效应力原理。有效应力原理真实地反映了土的力学性质的本质,使土力学确立了自己的特色,成

为土力学学科的一个重要指导原理，极大地推动了土力学的发展。

自土力学作为一门独立学科以来，大致可以分为两个发展阶段。第一阶段从 20 世纪 20 年代到 60 年代，称古典土力学阶段。这一阶段的特点是在不同的课题中分别把土看作弹性体或刚塑性体，又根据课题需要把土视为连续介质或分散体。这一阶段的土力学研究主要在太沙基理论基础上，形成以有效应力原理、渗透固结理论、极限平衡理论为基础的土力学理论体系，研究土的强度与变形特性，解决地基承载力和变形、挡土墙土压力、土坡稳定等与工程密切相关的土力学课题。这一阶段的重要成果有关于粘性土抗剪强度、饱和土性状、有效应力法和总应力法、软粘土性状、孔隙压力系数等方面的研究，以及钻探取不扰动土样、室内试验（尤其三轴试验）技术和一些原位测试技术的发展，对弹塑性力学的应用也有了一定认识。第二发展阶段从 20 世纪 60 年代开始，称为现代土力学阶段。其最重要的特点是把土的应力、应变、强度、稳定等受力变化过程统一用一个本构关系加以研究，改变了古典土力学中把各受力阶段人为割裂开来的情况，从而更符合土的真实性。这一阶段的出现依赖于数学力学的发展和计算机技术的突飞猛进。较为著名的本构关系有邓肯的非线性弹性模型和剑桥大学的弹塑性模型。国内学者在这方面也做了不少工作，例如南京水利科学研究所提出的弹塑性模型。由于本构关系对计算参数的种类和精度要求更高，因此也推动了测试和取样技术的发展。虽然这种方法目前还未广泛在工程中应用，也无法替代简化的和经验的传统方法，但它代表土工研究的发展趋势，促使土力学发生重大变革，使土工设计和研究达到新的水平。

从土木工程的发展和相关学科的进步考虑，国内外学者认为 21 世纪的土力学的发展趋势是：

(1) 进一步汲取现代数学、现代力学的成果和充分利用计算机技术，深入研究土的非线性、各向异性、流变等特性，建立新的更符合土的真实特性的本构模型以及将该模型用于解决实际问题的计算方法。

(2) 充分考虑土和土工问题的不确定性，进行风险分析和优化决策，岩土工程的定值设计方法逐步向可靠度设计转化。这需要大量的工程统计资料。概率论、模糊数学、灰色理论等也将在岩土工程中起更大的作用。

(3) 对非饱和土的深入研究，充分揭示土粒、水、气三相界面的表面现象对非饱和土力学特性的影响，建立非饱和土强度变形的理论框架。

(4) 土工测试设备和测试技术将得到新的发展。高应力、粗粒径、大应变、多因素和复杂应力组合的试验设备和方法得到发展，原位测试、土工离心试验等得到更大应用，计算机仿真成为特殊的土工试验手段，声波法、 γ 射线法、CT 识别法等也将列入土工试验方法的行列。

(5) 环境土力学得到极大的重视。炉渣、粉煤灰、尾矿石的利用和处理，污染土和污染水的性质和治理，固体废料深埋处置方法中废料、周围土介质和地下水的相互作用以及污染物的扩散规律等研究将大大加强。由开矿、抽水、各种岩土工程活动造成的地面沉降和对周围环境的影响及防治继续受到重视。此外，沙漠化、盐碱化、区域性滑坡、洪水、潮汐、泥石流、地震等大环境问题也将进入土力学研究的范畴。

(6) 土质学的研究进一步深入，用微观和细观的手段，研究和揭示岩土力学特性的本质。

(7) 人工合成材料的应用。人工合成材料在排水、防渗、滤层、加筋等方面已得到很好的应用，但对其与土一起作为复合材料的相互作用机理的了解尚很粗浅，设计理论和方法还很不完善，对这种复合材料的深入研究将给土力学研究增加新的内容。

第三节 土质学与土力学的研究内容与方法

土力学是研究与工程建筑有关的土的应力、应变、强度和稳定性等力学问题的一门学科，它是随着经济建设而发展的应用力学之一。其基本研究内容一般包括：土的物理力学性质以及取得这些性质指标的土工试验技术、地基土内的应力分布规律研究、地基土的变形规律研究（包括沉降和渗透变形规律）、地基土的强度、承载力及其稳定性、土坡稳定性以及挡土结构物上的土压力等。近年来随着土力学理论不断发展，土的有效应力原理、土动力学、应力路线、本构关系等已经成为土力学的重要研究内容。

土力学是为岩土工程服务的一门学科，而影响岩土工程的因素众多，工程地质、水文地质、环境、气象、施工以及其他人为的和时间的因素都能影响岩土工程的成败，这就是岩土工程的不确定性。由于土层的复杂性和取样的不连续性、小土样和原位土层的差异、土样扰动的影响、试验条件与实际工程情况的区别等等，岩土工程原始依据的勘测资料具有局限性，即便最认真细致的勘测也可能存在偏差。此外，准确分析和利用勘测资料也不是容易的事。而设计参数的误差往往导致结论的大偏差，其影响甚至超过计算方法的选择。

太沙基 (Terzaghi, 1959) 在给法国人洛西埃 (Lossier, 1958) 写的“土力学的信心危机”一文的答复中指出了土力学的特点：土力学具有“科学性”和“艺术性”的双重特性，即土力学不是一门“精确”的科学，与其说它接近桥梁工程或机械工程，不如说更接近医学。对于医学，“临床经验”是十分重要的。或者说土力学是工程实践中的一个工具，但不是像计算尺、计算机那样按指示书使用就行的工具，而是像地球物理勘探那样需要长时间实践才有把握掌握的工具。

派克 (Peck, 1969) 总结了土力学中的“观察法”，可表述为：在有足够（但不一定很详细）的勘测资料的基础上，根据地质知识对土层的最可能性状和最不利条件下的可能偏差作出评价，并据此作出简化假设和进行设计。在设计中应确定需要在施工过程中实施观察的量（如沉降、孔隙水压力等），并且按简化假设预估这些量的数值（包括在最不利情况下的相应数值）是多少，同时考虑最不利情况发生时如何选择补救措施或改变设计。最后在施工中观察哪些量，并对观察结果作出评价，必要时修改设计，以适应现场的实际情况。派克指出，观察法的局限性在于只能用于在施工过程中有可能修改设计的场合，有时还可能会延长工期，但是观察法是有利于降低造价和避免灾害的。派克提倡的观察法，就是现在所说的“动态设计”概念。

雷生迪斯 (Resendiz, 1979) 又对过分依赖观察法，过分强调从理论上找到普遍性规律的困难及危险提出自己的看法。他认为同其他学科一样，要在土力学领域内作出理论上的概括，需要四个过程：

- (1) 识别过程，即从原型观察的个别事例来识别哪些是有意义的（有效的）变量。
- (2) 归纳过程，即把有关的变量归纳成最少数量的独立变量，这要求舍弃一些无关的、次要的变量，在许多情况下要用到量纲分析。
- (3) 模拟过程，即探求从归纳过程得到的诸独立变量之间的关系式。
- (4) 验证过程，即把以上求得量之间的关系式同现场事例比较。

其中模拟过程可以有模型试验、数学分析两种经典方法和计算机数值分析方法。

从以上阐述中可以看出,土力学学者都非常重视理论和实践两个方面,他们在某一篇文章中强调其中一方面是因为当时工程界具有忽视这一方面的倾向。太沙基关于“科学性”和“艺术性”的论述精辟地反映了土力学的特点:一方面,土力学有严密的科学性,在工程实践中决不能违反土力学的基本原理,否则会导致工程的失败和酿成重大事故;另一方面,土力学又非常强调实践经验,强调地区特点,这是保证工程完美的基础。一方面,需要先进的数学力学知识和计算机技术,以便更快捷、更精确地解决复杂岩土工程问题;另一方面,计算模型、计算参数的选择和计算结果的分析还是需要丰富的经验,也不能否定传统方法在工程中所起的作用。这些认识,无论是在土力学课题的研究中,岩土工程的设计或施工中,还是在土力学课程的学习中,都是非常重要的。

第四节 本课程的学习要求

土力学在土木工程专业中是作为专业基础课,它在一般基础课和专业课之间,起着承上启下的作用,它必要的先修课程有固体力学、工程地质学、水文地质学等。在道路工程、桥梁工程、隧道工程中,会遇到大量的与土有关的工程技术问题,学习本课程是为了更好地学习专业课,也是为了今后更好地解决有关土的工程技术问题。

本教材的内容以经典土力学为主,在学习本课程时,要求:

- (1) 了解土的基本物理力学性质和土的分类,以及这些性质与土的组成和结构的关系。
- (2) 必须牢固掌握土力学的基本原理和理论。强度理论、有效应力原理、渗透理论、固结理论、土压力理论等是其中主要的一些理论,需要理解它们的本质概念。
- (3) 掌握主要的计算方法,例如三相指标的换算、强度计算、变形计算、土压力计算、边坡稳定计算等,了解它们在工程实践中的应用,这是学习后续的专业课程如“基础工程”、“地基处理”等的基础。
- (4) 掌握基本的土力学试验方法和成果分析,了解原位测试技术的应用。
- (5) 更重要的是如前所述,掌握土力学的学科特点和分析方法,能真正地把这门课的知识用于解决实际问题。

相信在教师和学生的共同努力下,本教材会成为大家学习专业课程和解决岩土工程问题的有效工具。

思考题

1. 什么是土?有何特点?
2. 什么是土质学?什么是土力学?他们有何区别与联系?
3. 土力学的作用和任务是什么?
4. 土力学的研究内容有哪些?
5. 简述土力学的发展历史。
6. 简要叙述土力学的研究方法。

第二章 土的物理性质及工程分类

本章知识点

1. 土的生成与特性的关系；
2. 土的三相组成及其特性；
3. 土的物理性质指标及其换算；
4. 土的物理状态指标及其应用；
5. 地基土的工程分类方法。

土是由固体颗粒（又称固相）、水和气体所组成，故称为三相系。土中颗粒的大小、成分及三相之间的比例关系，反映出土的不同性质，如干湿、轻重、松紧及软硬等。土的这些物理性质与力学性质之间有着密切的联系，如土松而湿则强度低而压缩性大；反之，则强度高而压缩性小。故土的物理性质是土的最基本性质。

本章将分别介绍土的生成与特性、土的物理性质指标、土的物理状态指标，并利用这些指标及其特征对地基土进行工程分类。

第一节 土的生成与特性

一、土的生成

土是地球表层岩石经过风化、剥蚀、搬运、沉积，形成的固体矿物颗粒、水和气体的集合体。不同的风化作用，形成不同性质的土。风化作用主要有下列三种。

(1) 物理风化

岩石经风、霜、雨、雪的侵蚀，温度和湿度的变化，不均匀膨胀和收缩，使岩石产生裂隙，崩解为碎块。这种风化作用，只改变颗粒的大小和形状，不改变矿物成分，称为物理风化。由物理风化生成的为粗颗粒土，如碎石、卵石、砾石、砂土等，呈松散状态，总称无粘性土。

(2) 化学风化

岩石碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质接触，使岩石碎屑发生化学变化，改变了原来组成矿物的成分，产生一种新的成分——次生矿物，土的颗粒变得很细，具有粘结力，如粘土、粉质粘土，总称为粘性土。

(3) 生物风化

由动、植物和人类活动对岩体的破坏，称为生物风化。例如开山、打隧道等活动形成的土，其矿物成分没有变化。

初期形成的土是松散的，颗粒之间没有任何联系，随着沉积物逐渐增厚，产生上覆土层压力，使得较早沉积的颗粒排列渐趋稳定，颗粒之间由于长期的接触产生了一些胶结，加之沉积区气候干湿循环、冷热交替的持续影响，最终形成了具有某种结构联结的地质体（工程地质学中称为土体），并通常以成层的形式（土层）广泛覆盖于前第四纪坚硬的岩层（岩体）之上。

二、土的结构与构造

土的结构和构造，即物质成分间的联结特点、空间分布和变化规律反映了土物质的存在形式。一般地，土的结构指的是微观结构，借助于光学显微镜和电子显微镜对实体扫描放大数千倍所鉴定到的细节。而土的构造是指整个土层（土体）空间构成上特征的总和，它们借助于肉眼或放大镜可以鉴别，也可以说是土的宏观构造。

土的结构构造的研究一开始就和土的工程性质紧密相连。对自然界所存在的各种类型土在物理学性质方面表现出来的巨大差异和各自不同的工程力学性质，除了从成分（粒度的、矿物的和化学的）、成因（风成、水成、冰成等等）、形成年代和物理化学影响等方面进行研究外，不可不从结构构造上来探索其根源。事实上土的结构构造，不仅是决定工程性质的重要因素之一，而且结构构造本身与土的物质成分一样，也是地质历史与环境的产物。

（一）土的结构

土的结构是指土颗粒的大小、形状、表面特征、相互排列及其联结关系的综合特征。一般有三种基本类型：单粒结构、蜂窝结构和絮状结构。

1. 单粒结构

单粒结构是无粘性土的基本组成形式，由较粗的砾石、砂粒在重力作用下沉积形成。因其颗粒较大，土粒的结合水较少，粒间没有粘结力，有时仅有微弱的毛细水连接，土粒排列的紧密程度随其沉降的条件而不同。如果土粒沉积缓慢或受波浪反复冲击推动作用，则形成紧密的单粒结构（如图 2-1a）。由于土粒排列紧密，强度大，压缩性小，是良好的天然地基。当土粒沉积速度快，如洪水冲积形成的砂层和砾石层，往往形成松散的单粒结构（如图 2-1b）。由于土的孔隙大，土粒骨架不稳定，当受到动力荷载或其他外力作用时，土粒容易移动而趋于紧密，同时产生很大变形，因此未经处理的这种土层，一般不宜作为建筑物的地基。如饱和松散的土是由细砂或粉砂粒所组成，在强烈的振动作用下，土的结构会突然破坏变成流动状态，引起所谓“砂土液化”现象，在地震区将会引起震害。

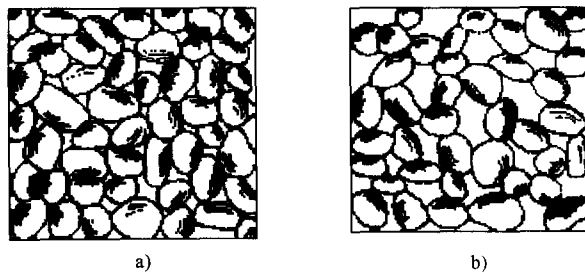


图 2-1 单粒结构

a) 紧密的单粒结构；b) 疏松的单粒结构

2. 蜂窝结构

当土粒较细（如粉粒：粒径 $0.005 \sim 0.075\text{mm}$ ）在水中单独下沉，碰到已沉积的土粒，由于土粒之间的分子引力大于颗粒自重，则下沉土粒被吸引不再下沉，形成具有很大孔隙的蜂窝结构（如图 2-2）。

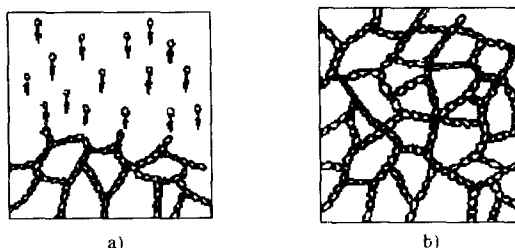


图 2-2 蜂窝结构

a) 颗粒正在下沉；b) 沉积形成的蜂窝结构

3. 絮状结构

细粒土（如粘粒粒径小于 0.005mm ），在水中长期处于悬浮状态，不会因单个颗粒的自重而下沉，当悬浮液中掺入某些电解质，粘粒间的排斥力因电荷综合而破坏，凝聚成类似海绵絮状的集合体，并在聚合到一定质量时相继沉下，和已经沉积的絮状集合体接触，形成孔隙很大的絮状结构（如图 2-3）。

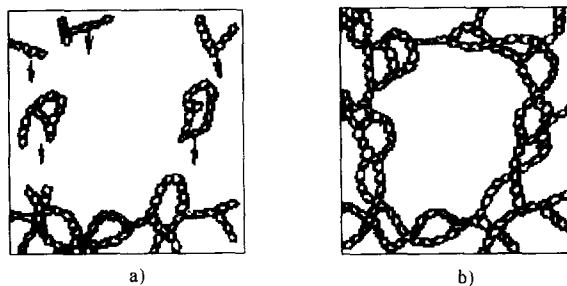


图 2-3 絮状结构

a) 絮状集合体正在下沉；b) 沉积形成的絮状结构

具有蜂窝状结构和絮状结构的土，颗粒间存在大量细微孔隙，其压缩性大、强度低、透水性弱。又因土粒之间的联结较弱且不甚稳定，在受扰力作用下（如施工扰动影响），土粒接触点可能脱离，部分结构遭受破坏，土强度会迅速降低。但具有蜂窝状结构和絮状结构的土，其土粒之间的联结力（结构强度）往往由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

（二）土的构造

土的构造是指同一土层中成分和大小都相近的颗粒或颗粒集合体相互关系的特征。土的构造是在土的生成过程和各种地质因素作用下形成的，所以不同土类和成因类型，其构造特征是不一样的，一般可分为层状构造、分散构造和裂隙构造等。

1. 层状构造

土粒在沉积过程中，由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小或颜色不同，沿竖向呈层状特