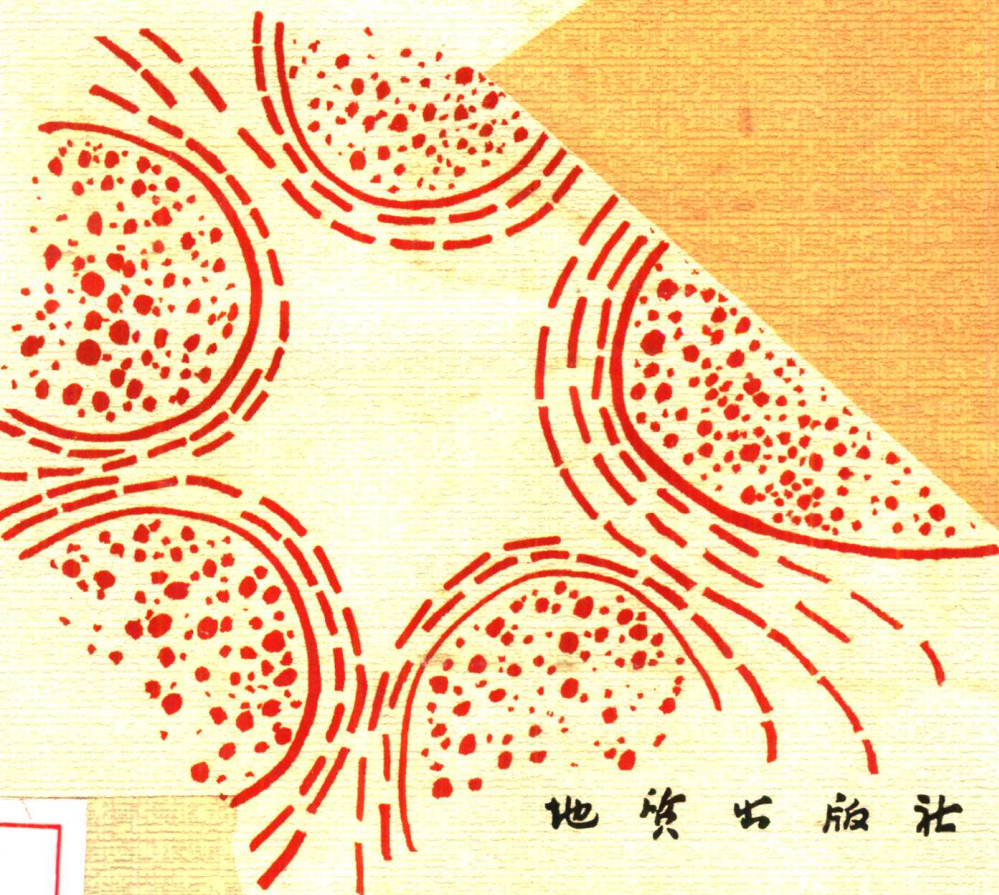


高等学校教材

工程岩土学

(第二版)

唐大雄 刘佑荣 修订
张文殊 王 清



地质出版社

高等学校教材

工程岩土学

(第二版)

唐大雄 刘佑荣 修订
张文殊 王 清

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

地质出版社曾于1980年(试用版)及1987年先后两次出版地质矿产部高等院校教材《工程岩土学》(长春地质学校唐大雄、武汉地质学院孙懋文等人主编)。《工程岩土学》(第二版)是在上述教材的基础上,结合两院校多年来的教学经验和近年来学科新进展,进行修改、补充编写而成的。参加本书修订的编写者有:长春科技大学(原长春地质学院)唐大雄、王清、张文殊,中国地质大学(原武汉地质学院)刘佑荣。

本书根据地质学的基本原理,结合工程建设的需要,系统论述岩土体的工程地质性质及其形成和变化的基本规律。全书除绪言外,共分两篇十二章,第一篇为土和土体的工程地质研究,第二篇为岩石和岩体的工程地质研究。分别阐述土和岩体的物质组成、结构、物理性质、力学性质、分类及性质改良原理等内容,每篇均附有室内试验指导书及主要参考文献,最后附上三个附录:主要符号及其单位,计量单位及换算,专业名词汉英对照。

本书理论联系实际,介绍经过实践检验的基本理论,适当反映本学科的新成就,充分注意符合我国的实际情况,并与近年来颁布的有关国家标准相适应。本书可作为水文地质和工程地质、岩土工程等专业的教科书,也可供从事工程地质勘测和岩土工程的广大技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程岩土学/唐大雄等修订.-2版.-北京:地质出版社,1999.8

高等学校教材

ISBN 7-116-02764-5

I. 工… II. 唐… III. 岩土力学-高等学校-教材 IV. TD4

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第34239号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:戴鸿麟 陈磊

责任校对:黄苏晔

*

北京朝阳小红门印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:17.5 字数:418700

1999年8月北京第二版·1999年8月北京第一次印刷

印数:1—5000册 定价:14.00元

ISBN 7-116-02764-5

P·1988

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

(1987年版) 前言

本书是在地质矿产部高等学校试用教材《工程岩土学》(长春地质学院编,地质出版社,1980年)的基础上,按地质矿产部审订的教学大纲(100学时)编写的,可作为高等地质院校工程地质专业四年制本科学生的专业课教材。全书共分两篇,第一篇为土和土体的工程地质研究;第二篇为岩石和岩体的工程地质研究。每篇均附有室内试验指导书;书的最后附有符号、单位换算和主要专业词汇汉英对照三个附录。

本书由长春地质学院唐大雄、武汉地质学院孙慷文主编。孙慷文编写绪言、第一章至第五章、附篇一中的实验一至实验十二;唐大雄编写前言、第六章至第九章、附篇一中的实验十三至实验十八;长春地质学院魏克和编写第十章至第十三章;肖树芳编写附篇二中的实验一至六。1985年4月,地质矿产部工程地质教材编审委员会组织有关院校(成都地质学院、长春地质学院、武汉地质学院、兰州大学、华东水利学院、南京大学、华东地质学院、贵州工学院等)代表对本书进行了评审,并提出了具体修改意见。最后,由唐大雄、孙慷文根据评审意见书的要求,再次修改定稿。本书承成都地质学院赵泽三作最后的审阅,在此表示感谢。

编者在编写本书过程中,力求反映国内外学科的发展现状,并结合各自的教学经验,按理论联系实际的原则进行编写。但由于作者水平所限,还会有许多不足之处,敬请读者指正。

编者
1985年10月

修订版前言

地质出版社曾于1980年及1987年先后两次出版地质矿产部高等院校教材《工程岩土学》。前者由长春地质学院唐大雄、肖树芳主编；后者由长春地质学院唐大雄和武汉地质学院孙慷文主编。十多年来，本教材为多所院校使用，重印多次。鉴于近年来我国工程建设方面颁布执行了许多新的规范、标准，国内外在岩土体研究方面取得新的进展，有必要对原教材进行修订再版，以满足教学需要。1998年夏，地质出版社委托唐大雄负责组织《工程岩土学》（修订版）的修编工作。参加本书修订工作的编者有长春科技大学（原长春地质学院）王清、张文殊、唐大雄，中国地质大学（原武汉地质学院）刘佑荣。本书是在1987年版《工程岩土学》的基础上，结合两院校多年来的教学经验和近年来学科新进展，按理论联系实际的原则，进行修改、补充、调整而成；修订后，基本上保持了原书的体系和风格。

本书根据工程地质学的基本原则，结合工程建设的需要，系统论述岩土体的工程地质性质及其形成和变化的基本规律。全书主要包括两大部分，计两篇、十二章及两个附篇。前部分为第一篇“土和土体的工程地质研究”及附篇一“土的室内试验指导书”；后部分为第二篇“岩石和岩体的工程地质研究”及附篇二“岩石室内试验指导书”。参加本书编写的人员及具体负责章节如下：

王清：第一篇第一、二、三章，附篇一实验一至六；

张文殊：第一篇第四、五章，附篇一实验七至十二；

唐大雄：第一篇第六、七章，绪论及附录；

刘佑荣：第二篇第八、九、十、十一、十二章，附篇二实验一至六。

最后由唐大雄统编，整理定稿。

本书阐述了经过实践检验的基本理论，适当反映了本学科的新成就，介绍了有关的研究技术和方法，充分注意了符合我国工程建设的实际情况，并与近年来国家颁布的有关规范标准相适应，力求做到理论联系实际，深入浅出。本书可作为水文地质和工程地质、岩土工程等专业的教科书（90~100学时），也可供从事工程地质、岩土力学、岩土工程的广大科学技术人员参考。

在本书编写中，参阅了国内外学者的大量文献，参照了有关的手册、规范、标准，并选用了其中许多图表和资料，编者谨表谢忱！由于内容繁多，在本书的参考文献中难以一一列出，在此谨向有关作者表示歉意！

编者们对地质出版社教材编辑室的有关同志表示谢意，感谢他们对本书出版的组织、审阅、编辑等工作的热心帮助！

限于时间和编者水平，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

1998年12月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 土和土体的工程地质研究

第一章 土的物质组成	(6)
第一节 土的粒度成分	(6)
一、粒组及其划分	(6)
二、土的粒度成分的测定方法	(8)
三、土的粒度成分的表达方法	(9)
四、土按粒度成分的分类	(11)
第二节 土的矿物成分	(13)
一、土的矿物成分的类型	(13)
二、土的矿物成分与粒组的关系	(14)
三、粘土矿物的基本类型及其基本特征	(16)
四、土的矿物成分研究方法简介	(19)
第三节 土的化学成分	(20)
第四节 土中的水	(22)
一、矿物中的结合水	(22)
二、土粒表面结合水	(23)
三、非结合水	(25)
四、固态水	(26)
五、气态水	(26)
第一节 土中的气体	(26)
一、土中的气体成分	(26)
二、土中气体的状态	(26)
第二章 粘粒与水的相互作用	(28)
第一节 粘粒的胶体特性	(28)
一、土粒的表面积	(28)
二、粘粒的胶体特性	(29)
第二节 粘粒双电层的形成	(30)
一、粘粒表面电荷的形成	(30)
二、粘粒双电层的特征	(31)
三、影响粘粒扩散层厚度的因素	(35)
第三节 离子交换	(37)
一、土中的离子交换	(37)
二、影响离子交换容量的因素	(37)
第四节 粘粒的聚沉和稳定	(40)

一、聚沉作用	(40)
二、稳定作用	(43)
三、触变与陈化	(43)
第三章 土的结构和土体结构	(44)
第一节 土的结构连结	(44)
一、按连结物质性质的分类	(44)
二、按连结力的性质分类	(45)
第二节 土的排列方式与孔隙类型	(46)
一、粗粒土的排列方式与孔隙类型	(47)
二、细粒土的排列方式	(47)
三、细粒土的孔隙特征	(48)
第三节 土的结构类型及研究方法	(49)
一、粗粒土的微观结构类型	(49)
二、细粒土的微观结构类型	(50)
三、研究土结构特征的方法简介	(52)
第四节 土体结构	(52)
第四章 土的物理性质	(54)
第一节 土的基本物理性质	(54)
一、土粒密度	(55)
二、土的密度	(55)
三、土的含水性	(56)
四、土的孔隙性	(57)
五、土基本物理性质指标的求法和相互关系	(60)
第二节 细粒土的稠度和可塑性	(61)
一、细粒土的稠度及界限含水率	(61)
二、细粒土的可塑性及其指标	(62)
三、细粒土稠度变化的本质	(64)
四、影响细粒土可塑性的因素	(65)
五、研究细粒土的稠度和可塑性的意义	(67)
第三节 土的胀缩性及崩解性	(68)
一、研究土胀缩性和崩解性的意义	(68)
二、土的膨胀性及其指标	(69)
三、土的收缩性及其指标	(70)
四、影响土膨胀性和收缩性的因素	(71)
五、土的崩解性及其影响因素	(72)
第四节 土的毛细性	(73)
第五节 土的透水性	(76)
第五章 土的力学性质	(78)
第一节 土的压缩性	(79)
一、土压缩变形的特点及实质	(79)
二、土的压缩试验和压缩性指标	(79)

三、载荷试验和变形模量	(82)
四、土的变形模量和弹性模量的关系	(84)
五、土的受力历史和前期固结压力	(86)
六、土的压缩过程	(88)
七、影响土压缩性的主要因素	(89)
第二节 土的抗剪性	(95)
一、土的抗剪强度及剪切破坏的本质	(95)
二、土的剪切试验	(96)
三、抗剪强度指标的确定	(98)
四、土的蠕变特性和长期强度	(101)
五、影响土抗剪强度的主要因素	(102)
第三节 土的击实性	(107)
一、研究土击实性的意义	(107)
二、土的击实性及其本质	(107)
三、影响土击实性的主要因素	(109)
第六章 土的工程地质分类及各类土的工程地质特性	(111)
第一节 土的工程地质分类	(111)
一、土的工程地质分类的基本类型	(111)
二、土的工程地质分类的一般原则和形式	(111)
三、我国主要的土质分类简介	(112)
第二节 土的一般性分类及一般土的工程地质特性	(117)
一、砾类土	(117)
二、砂类土	(119)
三、细粒土(粘性土)	(119)
第三节 特殊土的工程地质特性	(119)
一、淤泥类土	(119)
二、膨胀土	(122)
三、红土	(125)
四、黄土类土	(128)
五、盐渍土	(133)
六、人工填土	(137)
七、冻土	(138)
第七章 土体研究的基本问题及其人工改良的基本原理	(142)
第一节 人类活动对土体性质的影响	(142)
第二节 土体工程地质研究的基本问题	(143)
第三节 土体人工改良的基本原理	(144)
第四节 土体人工改良主要方法简介及选择原则	(145)
主要参考文献	(152)
附篇一 土的室内试验指导书	(153)
实验一 测定砂土的粒度成分(筛析法)	(153)
实验二 测定细粒土的粒度成分(密度计法)	(155)

实验三	测定土粒密度 (比重瓶法)	(161)
实验四	测定土的密度 (环刀法、蜡封法)	(163)
实验五	测定土的含水率 (烘干法)	(166)
实验六	测定土的液限和塑限 (锥式仪法和搓条法)	(167)
实验七	测定土的压缩性指标 (一) (杠杆式压缩仪法)	(170)
实验八	测定土的压缩性指标 (二) (高压固结仪法)	(174)
实验九	测定土的抗剪强度指标 (一) (直接剪切试验法)	(176)
实验十	测定土的抗剪强度指标 (二) (三轴剪切试验法)	(180)
实验十一	测定土的击实性指标 (击实仪法)	(186)
实验十二	土质试验成果整理	(188)
主要参考文献		(189)

第二篇 岩石和岩体的工程地质研究

第八章	岩石和岩体的地质特征	(191)
第一节	岩石的物质组成和结构构造特征	(191)
一、	岩石的物质组成	(191)
二、	岩石的结构与构造特征	(192)
三、	研究岩块性质的实际意义	(193)
第二节	岩体的结构特征	(193)
一、	结构面的成因类型	(193)
二、	结构面的规模和分级	(195)
三、	结构面的特征及其对岩体性质的影响	(195)
四、	软弱结构面	(199)
五、	结构体特征	(199)
六、	岩体的结构类型划分	(200)
第九章	岩石的物理性质	(202)
第一节	岩石的基本物理性质	(202)
一、	岩石的密度	(202)
二、	岩石的空隙性	(203)
第二节	岩石的水理性质	(204)
一、	岩石的吸水性	(204)
二、	岩石的软化性	(205)
三、	岩石的抗冻性	(206)
四、	岩石的透水性	(206)
第十章	岩石的力学性质	(208)
第一节	岩石的变形性质	(208)
一、	单轴压缩条件下的岩石变形性质	(208)
二、	三轴压缩条件下的岩石变形性质	(212)
三、	岩石的蠕变性质	(214)
第二节	岩石的强度性质	(215)
一、	岩石的单轴抗压强度	(215)

二、岩石的单轴抗拉强度	(217)
三、岩石的抗剪强度	(218)
四、岩石的三轴压缩强度	(219)
第十一章 岩体的力学性质	(221)
第一节 岩体的变形性质	(221)
一、结构面的变形特征	(221)
二、岩体变形参数的测定	(223)
三、岩石变形曲线类型	(224)
第二节 岩体的强度性质	(225)
一、结构面的抗剪强度	(225)
二、岩体的剪切试验及抗剪强度	(229)
第三节 岩体的动力性质	(231)
一、岩体中弹性波的传播规律	(231)
二、岩体的动变形与动强度参数	(232)
第十二章 岩体工程地质分类及岩体性质人工改良	(235)
第一节 影响岩体工程地质性质的主要因素	(235)
一、地下水的影响	(235)
二、风化作用的影响	(236)
第二节 岩体的工程地质分类	(238)
一、岩体质量分级	(239)
二、巴顿岩体质量分类 (Q 分类)	(241)
三、岩体地质力学分类 (RMR 分类)	(242)
四、硐室围岩分类	(243)
五、坝基岩体质量分类	(245)
第三节 岩体性质人工改良的基本原理	(247)
一、岩体材料改良	(247)
二、岩体结构改良	(248)
三、地质环境条件改良	(249)
主要参考文献	(250)
附篇二 岩石室内试验指导书	(251)
实验一 测定岩石的吸水率与饱和吸水率 (煮沸法或真空法)	(251)
实验二 测定岩石的静力变形参数 (电阻应变仪法)	(252)
实验三 测定岩石的单轴抗压强度 (单轴压力机法)	(255)
实验四 测定岩石的抗拉强度 (劈裂法)	(256)
实验五 测定岩石的抗剪断强度 (变角板法)	(257)
实验六 测定岩石三轴压缩条件下的强度和变形参数 (三轴压力机法)	(259)
主要参考文献	(262)
附录一 主要参数符号及其单位	(263)
附录二 专业名词汉英对照	(266)

绪 论

一、工程岩土学的研究意义

人类的工程建筑活动是在地壳表层的一定地质环境中进行的，地质环境对建筑物的修建及建成后的安全、稳定和正常使用有着重大影响。因此，必须根据实际需要，深入研究并评价工程建筑地区的地质条件（如地质构造特征、岩土体工程地质性质、地形和地貌条件、水文地质条件、自然地质作用及岩土体地应力状态等）。这些对工程建筑物的位置、结构类型、施工方法及其稳定性有影响的地质环境称为工程地质条件。建筑物修建后，地质环境中的应力状态、水文地质条件和岩土性质将有所改变，因而产生一些地质问题，如地基变形和失稳、斜坡滑动、地下洞室变形和失稳、坝基渗漏和渗透变形、水库渗漏和淤积、水库诱发地震等。这些由工程建筑活动而产生的地质问题，一般称为工程地质问题，它也影响着建筑物的安全和稳定。工程地质问题是多种多样的，在具体情况下出现哪些问题及其对建筑物的地质环境的影响程度，取决于建筑物的特点和地质条件的好坏。工程建筑与地质环境是相互作用、相互影响的。深入研究地质环境与人类工程活动之间的关系，合理开发和保护地质环境，是工程建筑过程中的基本任务。

工程地质学是和工程建筑密切联系着的一门实用地质学，是研究预测和评价与工程建筑有关的工程地质问题的学科。它的研究内容紧密地围绕着各种工程建筑的要求，须查明有关的工程地质条件，为选择有利的建筑场地、优化建筑物设计、制定合理的施工方案、拟定改善不利地质条件的措施等方面提供依据；同时，还应预测工程地质条件在自然因素及在建筑设施影响下的变化趋势，以便制定合理开发与保护地质环境的方案。工程地质学被广泛应用于水利水电工程，工业与民用建筑工程，地下工程，道路、桥梁、海港及各种国防工程。这些不同类型、不同规模的建筑物对工程地质条件的要求极不相同，而它们所遇到的地质环境又是那么千变万化，产生的工程地质问题也极为复杂，这就使得工程地质学涉及的理论问题十分复杂，研究内容也很广泛。

任何工程建筑都是修建在地壳表层的岩土体中，任何建筑物都是以岩土体作为建筑地基（如厂基、坝基、路基）、建筑介质（地下洞室围岩、边坡工程）或建筑材料（如土料、砂料、石料）。因此，岩土体的性质是决定工程活动与地质环境相互制约的形式和规模的根本条件。任何工程地质问题，都是在地层表层岩土体中产生和演化的。因此，岩土体的研究是工程地质学中的最重要的任务。工程岩土学是以工程地质观点，研究岩土体的工程地质性质及其在自然和人为因素影响下形成和发展变化的学科，以适应各类工程建筑的要求，它也是工程地质学中的重要基础理论部分。工程岩土学不仅研究岩土体当前的性状，也要分析其性质的形成条件，并结合自然条件和建筑物修建后对岩土体的影响，分析并预测岩土体性质的可能变化，提出有关的防治措施。因此，分析建筑场地的工程地质条件，论证工程地质问题，进行工程地质评价，并提出改善保护地质环境的措施，都要对岩土体进行深入细致的研究。

二、工程岩土学的研究对象和研究内容

作为建筑地基、建筑介质或建筑材料的地壳表层岩土体，是工程岩土学的研究对象。

岩土是坚硬岩石和松软土的简称，它们都是地质作用的产物。无论坚硬岩石还是松软土，一般都是由固相、液相、气相组成的多相体系，并且都是矿物集合体。尽管岩石和土可用“岩土”这一地质术语来概括，但两者在工程地质性质上却有很大差别。岩石的矿物颗粒间具有牢固的结晶连结或胶结连结，因而强度高，在外力作用下变形量小；土的颗粒间连结很弱或者无连结，故强度低、易变形。

岩土体是由岩、土组成的地质体，在小范围内可以近似地把它看做均质的各向同性介质；但在较大范围内，由于岩土体在形成过程中，以及形成后，在外力地质作用或内力地质作用下，可形成各种不连续面，使岩土体经常表现出非均质性和各向异性的特点。因此，岩土体的性质不仅与岩土本身的性质有关，更重要的还与岩土体的结构有关。岩土体是地质体，存在于一定地质环境中，受有关因素（如地应力、地下水、温度）的影响。岩土体的定义是：由一定的岩土材料组成具有一定岩土体结构，赋存于一定地质环境中的地质体。

根据工程岩土学的研究对象，工程岩土学的研究内容包括以下几个方面：

(1) 研究岩土体工程地质性质（主要与工程建筑有关的性质），包括：物理性质——岩土体所处的物理状态，如密度和干湿状态、孔隙或空隙的特征，以及岩土体与水相互作用表现出来的性质，如可塑性、膨胀性、吸水性、软化性……等；力学性质——岩土体在外力作用下表现出的变形和强度特性；

(2) 研究岩土体工程地质性质的形成和分布规律，岩土体物质组成和结构特征对岩土体工程地质性质的影响；

(3) 研究岩土体工程地质性质指标的测试方法和测试技术；

(4) 研究岩土和岩土体的工程地质分类；

(5) 研究岩土体工程地质性质在自然因素或人类工程活动影响下的变化趋势和变化规律，并预测这种变化对各种建筑物的危害；

(6) 研究改良岩土体性质的原则和方法。

为开展上述内容的研究，工程岩土学采用的主要方法是一般地质学方法和专门的试验方法。因为岩土体是地质体的一部分，是自然历史的产物，在岩土体的形成和变化过程中，各有其相应的物质组成和结构，表现出不同的工程地质性质，只有采用地质学的自然历史分析法，才能正确地认识岩土体工程地质性质形成的原因和演变的历史、目前的状态及今后的变化趋势。然而，地质学方法所得的结果往往是定性的，不能满足工程设计和施工的需要。为了定量说明岩土体工程地质性质，定量评价有关的工程地质问题，必须采用专门的试验方法，即取样进行室内试验或现场原位测试，以获得表征岩土体工程地质性质的各种定量指标。工程岩土学采用的这两种研究方法关系极为密切。一般地质学方法是岩土体工程地质研究的基础，专门实验方法则是前者的深入和继续。只有把通过试验获得的各种数据和地质学方法得出的正确结论结合起来，才能对岩土体性质及其变化，以及各种工程地质问题做出评价。

由于土和土体与岩石和岩体有较大的差别，一般将其分开研究，故本书分为两篇：第一篇《土和土体的工程地质研究》，第二篇《岩石和岩体的工程地质研究》，分别讨论其物质组成、结构及工程地质性质。应用这些理论，对岩土和岩土体进行工程地质分类，进而

阐述不同类型岩土的基本特性及岩土体性质改良的基本原则。工程岩土学是一门实践性较强的学科，因此本书附有实验指导书。要学好本门课程，不仅要较好地掌握理论内容，而且必须学会实验技术，这有助于对基本理论的更好理解。

三、工程岩土学发展概况及动向

工程岩土学在本世纪 20 年代末期才形成一门较完整的学科，在原苏联称为《土质学》(Грунтоведение)。虽然“грунт”一词是指与工程建设有关的一切土和岩石，但实际上主要内容是土，而对岩石的研究很不够。在欧美各国，土和岩石工程地质性质的研究主要纳入 20 年代形成的独立学科《土力学》和 50 年代形成的《岩石力学》中。此后，将岩土性质研究与土力学和岩体力学相结合，解决岩石和土在工程建设中的利用、整治或改造的问题，形成了一门新学科——《岩土工程》。50 年代初期，苏联土质学被介绍到我国，在社会主义建设中起了一定的促进作用。通过我国 30 多年来的建设实践，大大丰富和提高了对土和土体、岩石和岩体的工程地质研究的内容和研究水平，通过实践和总结，于 70 年代逐步形成了具有我国特点的《工程岩土学》。

《工程岩土学》、《土力学》和《岩石力学》和《岩土工程》的研究对象都是岩土体，解决与工程建设有关的岩土体问题，都是为工程建设服务的。但应强调，《工程岩土学》是从地质学的观点，研究岩土体性质及其形成和变化的规律，属于工程地质学的分支；土力学和岩石力学是从力学观点出发，研究岩土体在力的作用下应力与变形，强度及稳定性的规律，对岩土体在工程建设作用下的变化作出定量的评价，是力学的分支；而《岩土工程》则运用《工程岩土学》和《土力学》和《岩石力学》的基础理论和评价方法，解决工程建设过程中所遇到的与岩土体有关的技术问题，属于工程技术的范畴。《工程岩土学》是《土力学》和《岩石力学》和《岩土工程》的理论基础。

在我国，《工程岩土学》的发展，大体上可分为三个阶段：第一阶段（50 年代以前），重点是研究松软土，研究零星，主要注意土的粒度成分与其性质的关系；第二阶段（50 年代至 60 年代），研究仍着重土，特别对土的化学成分与土的工程地质性质间的关系进行了大量研究，与此同时，也注意到土质改良原理和岩石及岩体的工程地质研究；第三阶段（60 年代以后），研究有较大发展，将土的结构和土体的结构研究放在首位，岩石和岩体的工程地质研究得到较大的发展。最近十多年来，人类活动对岩土体影响的研究得到了发展和重视。

在《工程岩土学》的研究中，以下几方面的动向是值得注意的：

(1) 加强对岩土体力学性质的基础研究，即运用数学、力学、物理、化学等最新理论研究其力学性质的本质，注意地质学与力学的结合；

(2) 重视岩土体宏观和微观的研究，注意土、土体、岩体类型的合理划分；

(3) 大力发展和引进现代测试技术，注意室内试验和现场原位测试的结合；

(4) 加强对岩土体性质的研究，注意动、静性质的对比；

(5) 除对一般岩土体的研究外，加强对特殊建筑地基或建筑环境的岩土体和某些特殊岩土体的研究；

(6) 加强岩土工程地质研究中的数学分析，利用统计学处理测试数据，探求统计规律，广泛应用电子计算机。

第一篇 土和土体的工程地质研究

地壳表面松软的土是岩石圈表层在漫长的地质历史时期里，经受各种复杂的地质作用（包括人类活动）而形成的地质体。我国大部分地区的松软土形成于第四纪或新第三纪时期。土是由固体相、液体相、气体相三相物质组成；其中，固体相由大小不等、形状不同、成分不一的岩屑或矿物颗粒及有机物质组成，固体相是组成土的核心部分；液体相是指土中的液态水，其中常含有溶解的物质；气体相即土中的气体。土粒聚集在一起，粒间形成孔隙，成为液体相和气体相物质储存的场所和传导通道。所以土主要是由多矿物组成的一个非均质、多相、分散、多孔的系统。在该系统中，上述三相物质不仅在各相之间，而且在某一相（如固体相）内不同部分，其性质也是不相同的。由于三相间的比例关系以及相邻各相的相互作用，使其界面上出现各种界面现象，如吸附、表面张力、摩擦、分散、凝聚、离子交换等等，并影响着土的各种工程地质性质，例如孔隙性、膨胀性、收缩性、可塑性、毛细管性、抗剪性等。

由于形成土的母岩（或母质体）成分的差异，以及经受各种不同的地质营力作用，导致松软土的成因类型、物质组成（粒度成分、矿物成分和化学成分）、结构构造（微观的矿物排列形式和肉眼所看到的构造）以及物理-化学状态（干湿程度、密实程度、孔隙溶液成分及浓度以及pH值等）也不相同。一般情况下，土具有成层的特征，同一层内的物质组成、物理化学性状基本上是一致的，工程地质性质亦大体相仿，这就是我们常称的“土层”。当然有时在同一层中岩性也有变化，如常见的透镜体、薄夹层或岩性渐变现象；有时还有空隙、空洞等现象。

近年来，随着工程地质工作的发展，提出了“土体”的概念。土和土体是两个概念。土是具一定成因的各种矿物的松软集合体，是土体的组成成分；“土体是由一定的土体材料组成，具有一定的土体结构，赋存于一定地质环境中的地质体。”^[12]土是由固体、液体及气体三相组分构成的，它们是土体的组成材料。若其组成较均匀，厚度较大，则呈现出均匀连续土体的特点，其工程地质特性及其变化主要取决于土体组成材料（土）的特性。但土体形成时伴随有层理的产生，或在形成后经改造而形成有节理、裂缝等不连续面。它们切割土块，形成一定结构体，使土体不连续和各向异性。因此，土体的特性除与土材料的性质有关外，还与不连续结构面在土体中的排列组合方式有关。作为地质体一部分的土体总是赋存于一定的应力、水和气体的环境中。环境中的应力和水或气体的赋存状态及其变化直接影响着土体的特性及其变化，对处于土体中的工程建筑有重大的影响。因此，工程岩土学不仅只研究组成土体材料的土的各种特性，更重要的还要研究土体的结构及其所处的应力和水环境，即不仅仅研究土，更重要的是研究土体。

由于建筑物的规模和类型不同，涉及土体的规模可大可小。土体可以是单一土层的均质体，也可以是多种岩性，多层土构成的复杂土体。在后一种情况下，土体的性质不等于某一土层的性质，也不等于各种土层性质的简单叠加，而是相互作用相互影响的有机整体。

任何一种土体，从其形成到现在，都经历了非常复杂的变化过程。土的成分和结构，土体结构及其所处的环境就是在这种长期的形成和演变过程中形成和变化着的。在某一种条件下，土具有某些成分、结构特征和一定的土体结构。因此，它具有一定的特性。而当条件改变后，土的成分、结构、土体结构和环境均有所改变，土体的性质也随之变化。故可以认为，土体的形成和演变过程，就是土体特性的形成和变化过程，由于不同的作用和处于不同的作用阶段，土体就表现出不同的特点。

一般地说，地质成因相同，处于相似形成条件下的土体，其工程地质特征具有很大的 consistency。但是，经历不同变化过程的土体，其工程地质特征就会表现出差异性。当掌握了不同类型土体的形成和演变规律后，便可了解到它们可能具有的特征，便有可能去预测土体在自然或人为因素影响下可能发生的变化。

第一章 土的物质组成

土是一种物质材料。它通常是由固体颗粒、液体水和气体组成。固体土粒是土的最主要的物质成分，由许许多多大小不等、形状不同的矿物颗粒按照各种不同的排列方式组合在一起，构成土的骨架主体，称为“土粒”。在土颗粒间的孔隙中，通常有液体的水溶液和气体（主要为空气）充填。土颗粒、水和气体这三个基本组成部分不是彼此孤立地、机械地混合在一起，而是相互联系、相互作用，共同形成土的工程地质性质。可见，各种土中三相物质组成的自身特性、它们之间的相对比例关系和相互作用，是决定土的工程地质性质的最本质的因素。三相物质组成是构成土的工程地质性质的物质基础。

固相土粒是构成土的主体，也是最稳定、变化最小的成分。在三相之间相互作用过程中，它们一般居主导地位。在天然土体中遇到的固体颗粒的粒径分布范围较广。在进行土的工程地质研究时，从土粒大小的组合、土的矿物成分和化学成分三个方面来考虑。土中不同大小颗粒的组合，也就是各种不同粒径的颗粒在土中的相对含量，称为粒度成分。它是反映土的固体组成部分的指标之一；组成土中各种土粒的矿物种类及其相对含量称为土的“矿物成分”；组成土的固体相和液体相部分（有时也包括气体部分）的化学元素、化合物的种类以及它们之间的相对含量，称为土的“化学成分”。

在自然界土体中，实际上没有纯净的水，孔隙中的水实际上是化学溶液。若将该溶液作为纯净的水研究时，根据土粒对极性水分子吸引力的大小分为强结合水、弱结合水、毛细水、重力水等。它们的特性各异，对土的工程地质性质亦有影响。气体也是土的组成部分之一，对土的性质也有一定的影响。

本章首先论述土的粒度成分，并着重介绍土按粒度成分的详细分类；而后，讨论土的矿物成分和化学成分；最后讨论土中的水和气体。

第一节 土的粒度成分

一、粒组及其划分

土的粒度成分是指土中各种大小土粒的相对含量。自然界中，组成土体骨架的土粒，大小悬殊、性质各异。土粒的大小通常以其平均直径的大小来表示，简称粒径，又称粒度，以“毫米”为单位。为了便于研究土中各种大小土粒的相对含量，及其与土的工程地质性质的关系，有必要将工程地质性质相似的土粒归并成组，按其粒径的大小分为若干组别。这种大小相近、性质相似的组别称粒组，或称粒级。每个粒组都以土粒直径的两个数值作为其上下限，并且给予适当的名称。

在自然界中，土粒直径变化幅度很大，从数米的漂石到几微米（ 10^{-6} m）的粘土，因而划分粒组是件复杂的工作。从不同的研究目的出发，有不同的划分方法，但其划分原则是相近的，都是服从量变到质变的辩证规律。

工程岩土学划分粒组的原则，首先考虑的是在一定的粒度变化范围内，其工程地质性质是相似的，超越了这个变化幅度就要引起质的变化。而粒组界限的确定，则视起主导作用的特性而定，其次要考虑与目前粒度成分的测定技术相适应。在符合上述两原则的前提下，尚应服从一定的数学规律，便于记忆。

目前，我国广泛应用的粒组划分方案如表 1-1 所示。一般是按粒径由粗至细依次划分为：漂粒组、卵石组、砾粒组、砂粒组、粉粒组和粘粒组六个粒组。各粒组，由于其土粒大小、矿物成分、化学成分的不同，表现出的工程地质性质也有很大差异。

表 1-1 我国土的粒组划分方案

粒径 mm	粒组的名称						
	方案一		方案二		方案三		
>800	漂石粒 (块石粒)	大	漂石粒 (块石粒)	巨粒	漂石粒 (块石粒)		
800~400		中					
400~200		小					
200~100	卵石粒 (碎石粒)	极大	卵石粒 (碎石粒)		卵石粒 (碎石粒)		
100~60		大					
60~40		中					
40~20		小					
20~10	砾粒	粗	圆砾粒 (角砾粒)	粗粒	砾粒	粗砾粒	
10~5		中				细砾粒	
5~2		细					
2~0.5	砂粒	粗	砂粒		砂粒	粗	粗
0.5~0.25		中					中
0.25~0.1		细	细				细
0.1~0.075		极细					
0.075~0.05							
0.05~0.01	粉粒	粗	粉粒	细粒	粉粒		
0.01~0.005		细					
0.005~0.002	粘粒	粗	粘粒		粘粒		
<0.002		细 (胶粒)					

表 1-1 中的前三组（漂、卵、砾粒组）多为岩石碎块。由这种粒组形成的土，孔隙粗大，透水性极强，毛细上升高度微小，甚至没有；无论在潮湿或干旱状态下，均没有连结，既无可塑性，也无胀缩性；压缩性极低，强度较高。

砂粒组主要为原生矿物颗粒，其成分大多是石英、长石、云母等。由这种粒组组成的土，其孔隙较大，透水性强，毛细上升高度很小；湿时粒间具有弯液面力，能将细颗粒连结在一起；干时及饱水时，粒间没有连结，呈松散状态，既无可塑性，也无胀缩性；压缩性极弱，强度较高。