

高等学校教材

土力学及岩石力学

武汉水利电力学院主编

水利电力出版社



97637

TU43
1312

高等学校教材

土力学及岩石力学

武汉水利电力学院主编

水利电力出版社

内 容 概 要

本书适用于《水利水电工程建筑》、《水利水电工程施工》、《农田水利工程》、《河流泥沙工程》以及《水道及港口工程建筑》各专业作为教材之用，也可供有关专业科技人员参考。

书中包括土力学和岩石力学两大部分。前者共有十四章，分别论述了土的物理力学性质、地基的应力与变形计算、土坡及地基的稳定性分析、土压力计算、桩基设计及地基的规划、设计与处理，还结合当前生产上需要，编入了填土的力学特性、地震中有关土力学问题和有限单元法在土力学中的应用三方面内容。岩石力学部分共有六章，分别论述岩石的物理、变形和强度特性，岩石的初始应力和这些性质的量测技术以及洞室围岩的应力问题。

土力学部分各章大都附有习题及答案。全书之后还附有教学用的土工试验指导书以及本课程常用的英制、公制与国际单位制的对照表。

高等学校教材

土力学及岩石力学

武汉水利电力学院主编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 29 $\frac{1}{4}$ 印张 678千字

1979年12月第一版 1979年12月北京第一次印刷

印数 00001—14140册 每册 3.35元

书号 15143·3554

前 言

本书依据一九七八年一月水利电力部制定的水利水电工程建筑专业教材编审规划（草案）及同年五月该专业教材编写大纲协调会议通过的《土力学及岩石力学》教材编写大纲写成。为了兼顾其他有关专业的教学需要，对某些章节的内容，适当地作了增添。

本书由武汉水利电力学院冯国栋同志担任主编工作。各章分别由下列各校教师负责编写：武汉水利电力学院的刘祖德（土力学绪论，第四章后半部），俞季民（第四章前半部，压缩试验，击实试验），陆士强（第八章），冯国栋（第九章），陈震（第十一章），陶振宇（岩石力学部分）；成都科技大学的刘双光（第一章，颗粒大小分析试验，液限、塑限试验），屈智炯（第二、七章，渗透试验），唐介眉（第三章），胡定（第十三章和试验成果整理与指标选择），刘峻（第十四章）；大连工学院的范煦（第五、六章及直接剪切试验），何广讷（第十、十二章）。并由冯国栋、胡定、何广讷分别负责校核。全书的附图由武汉水利电力学院土力学教研室负责描绘。

本书由华东水利学院主审。参加审稿的有天津大学及清华大学。经过编写大纲讨论会及预审和审稿各次会议，审查单位和到会的兄弟院校对本书提出了不少宝贵的修改意见，谨此表示谢意。

由于我们水平有限，编写时间比较匆促，书中谬误之处在所难免，尚希读者多加指正。

编 者

一九七九年六月

土力学常用符号和名词术语表

本表所用因次符号

L ——长度(米、厘米、毫米); t ——时间(年、天、秒);

F ——力(吨、公斤、克); $^\circ$ ——角度; N ——次数。

符 号	名 词、术 语	因 次	符 号	名 词、术 语	因 次
A	面 积	L^2	F_s	土坡的稳定安全系数	—
	振 幅	L	F_t	建筑物倾覆安全系数	—
	孔隙压力系数	—	f	摩擦系数	—
a	压缩系数	$L^2 F^{-1}$		土对桩周的极限摩阻力	FL^{-2}
B	宽 度	L		振动台频率	Nt^{-1}
	孔隙压力系数	—	$[f]$	土对桩周允许摩阻力	FL^{-2}
C_u	不均匀系数	—	f_n	试样自振频率	Nt^{-1}
c	凝 聚 力	FL^{-2}	G	土粒比重	—
c'	有效凝聚力	FL^{-2}	G_d	动剪切模量	FL^{-2}
c_c	压缩指数, 曲率系数	—	G_i	初始切线剪切模量	FL^{-2}
c_{cq}, c_{cu}	固结快剪、固结不排水剪凝聚力	FL^{-2}	G_t	切线剪切模量	FL^{-2}
c_q, c_{uq}	快剪、不固结不排水剪凝聚力	FL^{-2}	H	高 度	L
c_r	残余凝聚力	FL^{-2}	I_L	液性指数	—
c_s, c_d	慢剪, 排水剪凝聚力	FL^{-2}	I_p	塑性指数	—
c_v	固结系数	$L^2 t^{-1}$	i	水力坡降	—
D, d	直 径	L	i_b	起始水力坡降	—
D_f	基础埋置深度	L	i_{cr}	临界水力坡降	—
D_r	无粘性土相对密度	—	j	渗 透 力	FL^{-3}
d_{10}	有效粒径	L	K_0	静止土压力系数	—
d_{50}	平均粒径	L	K_a	主动土压力系数	—
d_{60}	限制粒径	L	K_h, K_v	水平、垂直地震系数	—
E	变形模量	FL^{-2}	K_p	被动土压力系数	—
E_d	动弹性模量	FL^{-2}	k	土的渗透系数	Lt^{-1}
E_i	初始切线变形模量	FL^{-2}	l	桩的入土深度	L
E_s	压缩模量	FL^{-2}	M	力 矩	FL
E_t	切线变形模量	FL^{-2}	m_v	土的体积压缩系数	$L^2 F^{-1}$
e	孔 隙 比	—	N	单桩的轴向承载力	F
	偏 心 距	L	$N_{63.5}(N)$	标准贯入击数	N
e_{max}	最松状态孔隙比	—	n	孔 隙 率	%
e_{min}	最密状态孔隙比	—	P	铅直向荷载	F
F_d	振动荷载	F	P_a	主动土压力	F
F_f	地基的稳定安全系数	—	P_p	被动土压力	F
F_n	下拉荷载	F	P_{uh}	水平向极限荷载	F
			P_{uv}	铅直向极限荷载	F
			p_a	主动土压力强度	FL^{-2}

续表

符 号	名 词、术 语	因 次	符 号	名 词、术 语	因 次
p_b	地基承载力	FL^{-2}	V_a	空气体积	L^3
p_c	先期固结压力	FL^{-2}	V_s	土粒体积	L^3
p_e	沉降计算压力	FL^{-2}	V_v	孔隙体积	L^3
p_{cr}	临界荷载强度	FL^{-2}	V_w	水的体积	L^3
p_p	波动土压力强度	FL^{-2}	v	渗流平均速度	Lt^{-1}
p_s	比贯入阻力	FL^{-2}	W	重 量	F
p_{uh}	水平向极限荷载强度	FL^{-2}	W_s	土粒重、干土重	F
p_{uo}	铅直向极限荷载强度	FL^{-2}	W_w	水 重	F
Q	渗透流量	L^3	w	土的含水量	%
q	单位渗流量	L^3t^{-1}	w_d	含 水 比	—
	旁侧荷载、超荷载	FL^{-2}	w_l	土的液限	%
q_c	静力触探探头阻力	FL^{-2}	w_{op}	最佳含水量	%
q_u	原状土无侧限抗压强度	FL^{-2}	w_p	土的塑限	%
q'_u	重塑土无侧限抗压强度	FL^{-2}	w_s	土的缩限	%
R	斜向荷载	F	w_{max}	饱和含水量	%
R_p	土对桩的沉入抵抗力	F	z_0	粘性土的直立土壁高度	L
R_s	砂井影响半径	L	α	天然休止角	°
R_u	斜向极限荷载	F	α_{cr}	土的破裂角	°
[R]	地基允许承载力	FL^{-2}	β	坡 面 角	°
r_e	桩群中各桩的偏心距	L	γ	土的容重	FL^{-3}
S	基础的最终沉降量、地基的最终变形量	L	γ_d	土的干容重	FL^{-3}
			γ_{dmax}	最大干容重	FL^{-3}
S_r	饱 和 度	%	γ_{dmin}	最小干容重	FL^{-3}
S_i	灵 敏 度	—	γ_m	土的饱和容重	FL^{-3}
S_w	黄土地基的湿陷量	L	γ_s	土粒的容重	FL^{-3}
T	水平向荷载	F	γ_w	水的容重	FL^{-3}
T_0	单桩横向承载力	F	γ'	土的浮容重	FL^{-3}
T_r	辐射向固结的时间因数	—	δ	外摩擦角, 合力与垂直力	°
T_o	铅直向固结的时间因数	—		夹角	
t	时 间	t	δ_{wp}	湿陷变形系数	%
	桩弹性曲线第一零点至地		ϵ	挡土墙背(对铅直线的)	°
	面的深度			倾角	
U	水对基底的浮托力	F	ϵ_1	轴向应变	%
U_i	固 结 度	—	ϵ_2, ϵ_3	横向应变	%
U_{tr}	加荷后历时 t 的地基辐射	—	ϵ_{cr}	挡土墙背的临界倾角	°
	向固结度		η	水的动力粘滞系数	FtL^{-2}
U_{tz}	加荷后历时 t 的地基垂直	—	θ	地震倾角	°
	向固结度		μ	土的侧膨胀系数或泊松比	—
u	孔隙水压力	FL^{-2}	σ	正应力、法向应力	FL^{-2}
u_a	孔隙气压力	FL^{-2}	σ_d	动法向应力	FL^{-2}
V	体 积	L^3	σ_f	破坏法向应力	FL^{-2}

续表

符 号	名 词、术 语	因 次	符 号	名 词、术 语	因 次
σ_v	土的自重应力	FL^{-2}	$\varphi_{cq}, \varphi_{cu}$	固结快剪、固结不排水剪 内摩擦角	°
σ_z	土的铅直向附加应力	FL^{-2}			
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	大、中、小主应力	FL^{-2}	φ_q, φ_{uu}	快剪、不固结不排水剪内 摩擦角	°
$\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$	大、中、小有效主应力	FL^{-2}			
σ_3, σ'_3	周围压力, 有效周围压 力	FL^{-2}	φ_r	残余内摩擦角	°
σ'	有效正应力	FL^{-2}	φ_s, φ_d	慢剪、排水剪内摩擦角	°
τ	剪 应 力	FL^{-2}	φ_t	长期内摩擦角	°
τ_f	抗剪强度	FL^{-2}	φ_0	瞬时内摩擦角	°
τ_{fo}	瞬时强度	FL^{-2}	φ'	有效内摩擦角	°
τ_{fr}	残余强度	FL^{-2}	$\text{tg } \varphi, f$	内摩擦系数	—
τ_{ft}	长期强度	FL^{-2}	ψ	剪 切 角	°
φ	内摩擦角	°	$\text{tg } \psi$	剪切系数	—
			ω	频 率	Nt^{-1}

目 录

前 言

土力学常用符号和名词术语表

第一篇 土 力 学

绪 论	1
第一章 土的物理性质及工程分类	4
第一节 土的生成和组成	4
第二节 土的物理性质指标	12
第三节 土的物理状态指标	16
第四节 土的工程分类	20
习题	28
第二章 土的渗透性	29
第一节 基本概念	29
第二节 土的渗透性	29
第三节 渗透力和渗透变形	33
习题	38
第三章 土体中的应力计算	38
第一节 概述	38
第二节 土体的自重应力计算	39
第三节 基底压力计算	41
第四节 地基中附加应力的计算	44
第五节 影响土体中应力计算的因素	60
习题	62
第四章 土的压缩性及地基变形计算	63
第一节 概述	63
第二节 土的压缩性	64
第三节 地基最终变形计算	70
第四节 饱和土的渗透固结理论	81
第五节 土的有效应力原理的进一步分析	95
第六节 地基变形随时间变化的有关问题	102
习题	105
第五章 土的抗剪强度	106
第一节 基本概念及土的破坏理论	106
第二节 土的剪切试验	111

第三节	按固结程度的剪切试验分类及试验成果表达方法	115
第四节	各种土的抗剪强度及指标的选用	118
第五节	有关土抗剪强度的一些问题	124
习题		134
第六章	挡土墙的土压力计算	135
第一节	土压力及其产生条件	135
第二节	朗肯土压力理论	137
第三节	库伦土压力理论	142
第四节	库伦理论与朗肯理论的比较	151
第五节	一些常见情况的主动土压力计算	153
第六节	一些土压力问题的讨论	157
习题		159
第七章	土坡的稳定性	160
第一节	概述	160
第二节	土坡的稳定性分析法	161
第三节	影响土坡稳定的因素	169
第四节	直线滑动分析法	175
第五节	非圆弧法简介	176
第六节	土坡稳定分析中的一些问题	182
习题		184
第八章	地基的稳定性	186
第一节	基本概念	186
第二节	按极限平衡区发展范围确定地基承载力	189
第三节	按极限荷载确定承载力	194
第四节	假定滑动面验算承载力	201
习题		205
第九章	填土的力学特性	206
第一节	概述	206
第二节	粘性填土的特性	207
第三节	无粘性填土的特性	219
习题		228
第十章	地震中有关土力学问题	229
第一节	地震力	229
第二节	土的动力性质	233
第三节	土工建筑物和地基的抗震分析	245
第四节	地震力的动力分析——反应谱理论简介	252
习题		254
第十一章	地基处理	255
第一节	概述	255
第二节	松软土地基的处理方法	256

第三节	特殊土地基问题	270
习题		274
第十二章	桩基	275
第一节	概述	275
第二节	单桩的轴向承载力	279
第三节	竖直单桩的横向承载力	290
第四节	桩基计算	297
习题		304
第十三章	地基设计	305
第一节	概述	305
第二节	勘探取土及试验	307
第三节	地基设计	313
第四节	现场观测工作	322
第五节	工程设计和观测实例	323
第十四章	有限单元法在土工中的应用	327
第一节	概述	327
第二节	土的应力应变和强度特性	330
第三节	有限单元法解土工问题的方法及应用情况概要	340
	岩石力学常用符号和名词术语表	349

第二篇 岩石力学

绪论		351
第十五章	岩石的物理性状	353
第一节	岩石的物理指标	353
第二节	岩体中软弱夹层的基本特性	358
第三节	岩石的不均匀性和各向异性	359
第十六章	岩石的变形特性	362
第一节	室内岩块变形试验	362
第二节	现场岩体变形试验	364
第三节	影响岩石变形特性的因素	369
第十七章	岩石的强度特性	374
第一节	室内岩块的强度试验	374
第二节	现场岩体强度试验	379
第三节	岩石的破坏特性及强度条件	381
第十八章	岩体中的初始应力	385
第一节	概述	385
第二节	岩体表面应力测量(应力解除法)	385
第三节	岩体表面应力测量(应力恢复法)	388
第四节	孔底应力测量	391

第五节	孔径应力测量	393
第六节	对岩体初始应力的初步认识及其应用	395
第十九章	洞室围岩中的应力	396
第一节	概述	396
第二节	洞室围岩应力的重分布	397
第三节	岩石压力	404
第四节	岩石抗力系数	417
习题	421
附录一	土工试验	423
一、	颗粒大小分析试验	423
二、	液限和塑限试验	430
三、	渗透试验	434
四、	压缩试验	442
五、	直接剪切试验	448
六、	击实试验	452
七、	试验成果整理与指标选择	455
附录二	单位换算表	460
参考文献	463

第一篇 土 力 学

绪 论

一、土力学的任务和作用

土是地壳表层母岩经受强烈风化（包括物理的、化学的和生物的风化作用）的产物，是各种矿物颗粒（土粒）的集合体。颗粒间的联结强度远比颗粒本身强度为小，甚至没有联结。在一般情况下，土的颗粒间有大量孔隙，而孔隙中通常有水和空气。因此，土与其它连续介质相区别的最主要特征，就是它的多孔性和散体性。

土在地壳表面上分布极广，它与工程建筑的关系十分密切。在工程建设中，特别在水利建设中，土被广泛用作各种建筑物的地基或材料。如在土层上修建堤坝、涵闸、渡槽、桥梁、码头、船坞等建筑物时，土就被用作为地基（称基土）；如土被用来修筑堤坝、路基和其它土工建筑物时，土就被用为建筑材料（称土料）；此外，如修建运河、渠道、隧洞、地下厂房以及地下管道等，则土就被用作为建筑物周围的介质或护层。

土的性质对于工程建筑物的质量、性状，具有直接而又重大的影响。经验证明：忽视水工地基的地基勘察和土的特性研究，轻则造成浪费，严重的还可引致工程事故。因此，对土的研究直接关系到工程的经济合理和安全使用问题。

土力学是利用力学知识和土工试验技术来研究土的强度和变形及其规律性的一门学科。一般认为，土力学是力学的一个分支，但由于它的研究对象——土是矿物颗粒所组成的松散颗粒集合体，其力学性质与刚体、弹性体及流体等都有所不同。因此，一般连续体力学的规律在土力学中应结合土的特殊矛盾作具体运用。还要用专门的土工试验技术来研究土的物理化学特性，以及土的强度、变形和渗透等特殊的力学特性。

二、本课程的内容、特点及与其它课程的关系

本课程学习的最基本要求是：

1. 了解土的基本物理力学性质、掌握若干主要土工试验的基本原理和一般操作技术，这将分别在第一、二、四、五、九章和附录中阐述。其中，将填土的工程性质列为专门的一章（第九章）。

2. 了解土体在承受外荷载后或改变其周围环境后的性能变化规律。在第三、四、五章中主要分析土体的变形和稳定特性。此外，在第二章中还涉及土体的渗透稳定问题。

3. 掌握一般水工建筑物设计中有关土力学内容的计算方法，如地基强度（承载能力）、地基变形、土坡稳定和作用于挡土结构的土压力等计算。这主要见第四、六、七、八等章，并在第十三章中予以综合分析和应用。

为适应高等院校水利专业类别较多的需要，也为适应我国各地区水利工程实践发展的需要，本书以一定的篇幅阐述了地震作用下土力学问题、软弱地基处理、桩基计算和有限单元法在土工中的应用等问题，这些内容见第十、十一、十二及十四章。此外，在附录中

还附入了适用于教学的土工试验指导书。

学习本课程时，必须着重注意认识土的特点，然后才能运用土力学的基本知识去正确地解决水工建设中的土工问题。土最主要的特点，首先是它的复杂性。由于成土母岩不同和风化作用的历史不同，在自然界中，土的种类繁多，分布复杂，性质各异。甚至在同一地区或同一地点，地基中可能埋藏多种土层。同一土层的性质也因其所处环境不同而有所差异。在研究土的物理力学性质时，要重视土的地质勘查，钻探取样和土质试验，查清土的种类及其存在状态。绝不能认为只要有一个土名就可概括该土的全部性质指标。并且还要从工程实际出发，对具体工程中的基土、土料规定具体的土工试验项目和方法。例如我国西北地区黄土在荷载作用下浸水后能迅速产生巨量的下沉变形，就应做湿陷变形试验。

土的第二个主要特点是它的易变性。土的性质经常受着外界的温度、湿度（包括地下水作用）、压力（如建筑物荷载）等影响而发生显著变化。工程设计中应尽可能地预先估计到在建筑物施工和运行中，土因受外界影响而产生的各种力学现象（如基土巨大沉降，土体开裂变形，土浸水失稳等），又要按照土变化的客观规律，能动地改善土的性质，或使建筑物的设计、施工、运行、管理能适应土的这种变化规律。例如粘土地基的最终变形量往往很大，但变形过程又可能持续很久（以年计）。这样，我们必须比较精确地预估建筑物最终变形量和变形随时间的变化过程，以及变形所引起的各种工程后果，并在施工和使用中加强现场观测，采取工程措施以防止变形的危害性。

研究水工建筑物地基和堤坝一类挡水的土工建筑物时，还应特别注意到下列特点：一般说来，建筑物规模大，地基范围广，所遇到土的埋藏情况更为复杂。挡水建筑物的修建又常会改变地基原有水文地质条件，给建筑物本身的稳定性带来不利影响；水工建筑物除承受垂直荷载外，还经常承受巨大的水平荷载作用，土体中应力与变形分布情况因而更为复杂；此外，水工建筑物必然还受到水的渗流作用影响。因此，应充分重视水工建筑物中基土和土料性质特殊规律的研究。

土力学课程属技术基础课，它在一般基础课和专业课间起着承上启下的作用。它必要的先行课程有：材料力学、结构力学、弹性理论初步；工程地质和水文地质学；水力学。它的主要后续课程是：水工结构。实际上所有水工建筑物的设计、施工和管理都不能缺少土力学的基本知识。

土力学又是一门边缘性学科，它所涉及的自然科学范围很广。除了和力学领域内各邻近学科（如弹性理论、塑性理论、流变理论和地下水动力学等）有密切关系外，还牵涉到地质学、土质学等。

三、土力学的发展简介

土力学是一门既古老、又新兴的学科。由于生产的发展和生活上的需要，人类很早就懂得广泛利用土进行工程建设。如我国公元前两世纪起所修建的万里长城和公元六世纪修建的南北大运河等宏伟工程，以及外国古代所建造的不少具有历史性的巨型建筑物，都证实了人们在工程实践中积累了丰富的土力学知识，但由于受到当时生产实践规模和其它知识水平的限制，直到十八世纪中叶，人们对土在工程建设方面的特性，还停留在感性认识

的阶段。

十八世纪产业革命以后，水利、道路、城市建设工程中大型建筑物的兴建，提出了大量与土力学有关的问题和不少成功的经验，特别是一些工程事故的教训迫切促使人们去寻求理论的解释，并要求用经过实践检验的理论来指导以后的工程实践。例如，十七世纪末叶，欧洲各国大规模的城堡建设推动了筑城学的发展。其中城墙背后土压力的问题引起了建设者的巨大注意，许多工程技术人员发表了多种土压力计算公式。这为库伦(Coulomb, C.A., 1773)提出著名的土的抗剪强度和土压力理论公式打下了基础。十九世纪中叶开始，大规模的桥梁、铁路和公路建设推动了桩工和深基础的理论 and 施工方法的发展。铁路、公路的路堑和路堤、运河渠道边坡、水坝的建设更迫切需要解决土坡稳定计算方法问题。总之，十八世纪中叶到十九世纪末，人们对土的强度、变形性能以及渗流三大问题作了某些个别理论的探讨，并作了某些基础工程问题的研究。但由于当时生产力和科学水平的限制，以及研究者受形而上学自然观的束缚与影响，本学科还只停留在积累观测资料和模型试验的阶段，对土极为复杂的物理力学现象未能作深入周密的分析研究，土力学尚未形成一门完整系统的学科。

二十世纪初期以来，随着生产建设的深度与广度的不断增大，建筑物的规模更大，其所遇到的工程地质条件也更复杂，促使人们全面地又系统地对土的力学性质作理论和实践的研究。地基勘探和土工试验的技术和设备的发展，现场观测资料的不断丰富。其它科学技术的新成就都对土力学的发展提供了非常有利的条件。与此同时，世界不少国家纷纷成立专门性土工研究机构，对若干具普遍性的工程事故（如欧洲各国许多码头、船坞、挡土结构的破坏和铁路路堤的坍方）作了重点调查勘探和试验工作，对土的工程性质、地基基础的设计施工进行了深入的研究。及至本世纪二十年代，著名土力学家太沙基(Terzaghi, K., 1925)的《土力学》专著问世，土力学方始成为一门独立的较系统较完整的学科。自1936年以来，已召开了九届国际土力学和基础工程会议，提出了数以千计的论文、报告和资料。许多国家已定期出版多种土工杂志。应该指出：第二次世界大战以后，由于尖端科学、生产（也包括军工）发展的需要，土力学的研究领域又有明显的扩大，如土动力学、冻土力学、月球土力学、海洋土力学等都是新兴的土力学分支。岩石力学也已与土力学分离而单独成为一门学科。超高型的土坝和土石坝（坝高 $>200\sim 300$ 米），巨型的土中洞库（净宽 >20 米）和管道，连续浇灌地下墙和软土上高层建筑下超深型的桩基等工程的建设，推动着土力学向更高、更深的水平不断发展。

我国古代劳动人民在长期与大自然作斗争的实践中积累了丰富的科学知识，其中也包括了土力学的知识。

两千多年前，我国四川省就广泛采用泥浆钻探法开凿盐井，对保护孔壁提供了宝贵经验。沿用至今的堤坝质量钎探检查方法，证明我国首先应用了触探技术。黄土地区的窑洞和陡峻路堑的修建，也证明我国古代劳动人民早就掌握了黄土的工程特性。我国一些传统的加固地基和路面的压实（或夯实）方法与工具至今还有使用。我国古代巨型建筑物中所用的料石基垫、灰土地基都有其科学根据。无数城堡、运河和沟渠工程建设解决了大量的土压力和土坡稳定问题。数千年来我国主要江河的堤坝防洪抢险工程中，曾积累了许多符合

反压土台、封土桩、倒滤层、减压井和截水齿墙等科学原理的有效土工措施。这些都证明我国劳动人民在长期实践中所积累的土力学知识是十分丰富的。

新中国的成立，为解放我国生产力和促进我国科学技术的发展开辟了一条广阔的道路。也使土力学学科得到了迅速的发展。在勘探观测技术、土的物理力学性质研究、地基基础以及土工建筑物的设计与施工等方面，都取得了显著成绩。例如：对全国各地区的特殊土类（如西北、华北的黄土，东北、西北及西藏的冻土，西南、中南的红粘土，华东沿海地区的软土淤泥以及散布很广的胀缩土）都进行了大量的勘探试验研究和调查总结工作，积累了大量资料，制订了一些切实可行的条例和规程。对软粘土的流变性质和固结理论、砂土振动液化、桩基设计施工等方面的理论研究，都获得一些有价值的成果。松软土地基上建闸筑坝、采用砂井预压加固、砂垫层、砂基深层爆炸振密、防渗墙等各种水工地基处理措施，以及采用新型基础（如爆扩桩基础、薄壳基础、反拱底板式闸基）等都取得一定经验。土坝水闸等的设计技术水平，也随着我国土力学学科的发展不断提高。电子计算机技术和有限元法在土工方面的推广运用，使土力学理论与实践的结合产生了新的飞跃。新的勘探试验机具器与日俱增，如静力和动力触探，现场孔隙水压力仪、测斜仪、土体内部和建筑结构内部以及界面上的应力应变传感器、采用放射性同位素等近代物理技术测定土的物理性质、用地震法及其它物理方法勘探地基的新技术不断推广。在国家建委直接领导下，各基建部门深入工程实践，认真总结经验，已制订了我国自己各类建设工程的地基设计规范。

我们坚信，在为实现我国四个现代化的新长征中，我国的土力学学科也必将会有更大的发展。

第一章 土的物理性质及工程分类

第一节 土的生成和组成

一、土的生成

（一）土的形成

地壳表层的岩石长期受自然界的空气、水、温度及各种生物的共同作用（即物理风化，化学风化和生物风化作用），使大块岩体不断地破碎与分解。随着地质历史的推移和地质环境的演变，岩体逐渐地被分裂、搬运、堆积而成为大小、形状和成分都不相同的颗粒集合体——土。

物理风化只引起岩块的机械破碎，其产物尚保持与母岩相同的成分，称为原生矿物，如石英、长石和云母等。砂、砾石和其它粗粒的土，主要是物理风化的产物。化学风化则改变母岩的矿物化学组成，形成了次生矿物。组成粘性土类的粘土矿物（蒙脱石、伊里石和高岭石）都属于次生矿物。生物风化表现为植物和动物的活动对岩体的分裂破坏。上述三种风化作用在自然界中是相互关联的。有时几种风化作用可以同时或相互交替进行。由此可见，土是在自然界中经过长期演变而成的自然历史产物，它的性质既决定于生成条

件，也随其存在条件的改变而变化。因此在自然界中，土类繁多、性质复杂易变。对土的工程特性进行评价或分析土力学问题时，就要重视自然环境对土质的影响^{[1.1]*}。

(二) 土的结构

土的结构是指土在其生成过程中所形成的土粒空间排列及联结形式。它与组成土的矿物成分、颗粒形状和沉积条件等有关。通常土的结构可归纳为三种基本类型：单粒结构、蜂窝结构和架叠结构。

1. 单粒结构 在沉积过程中，较粗的矿物颗粒在其自重作用下沉落，每个颗粒都受到周围已沉稳的各个颗粒所支承，使各颗粒互相依靠，交错重叠，如图1-1-1, *a*, *b*所示。这种结构的特点为颗粒间是点与点的接触，随着它的生成条件的不同，形成紧密的或疏松的状态。前者比较稳定，力学性能较好；后者比较不稳定，力学性质较差。单粒结构常见于颗粒较粗的粉土，砂土以及砾石等土类中。

2. 蜂窝结构 较细的土粒在自重作用下沉落碰到已沉稳的土粒时，由于颗粒细、重量小，如两土粒间接触点处的分子引力大于下沉土粒的重量时，土粒便被吸引着不再下沉，逐渐形成链环状单元，很多这样的链环联结起来，便形成孔隙较大的疏松的蜂窝状结构，如图1-1-1, *c*所示。蜂窝结构常在粉土，粘土等粘性土中遇到。

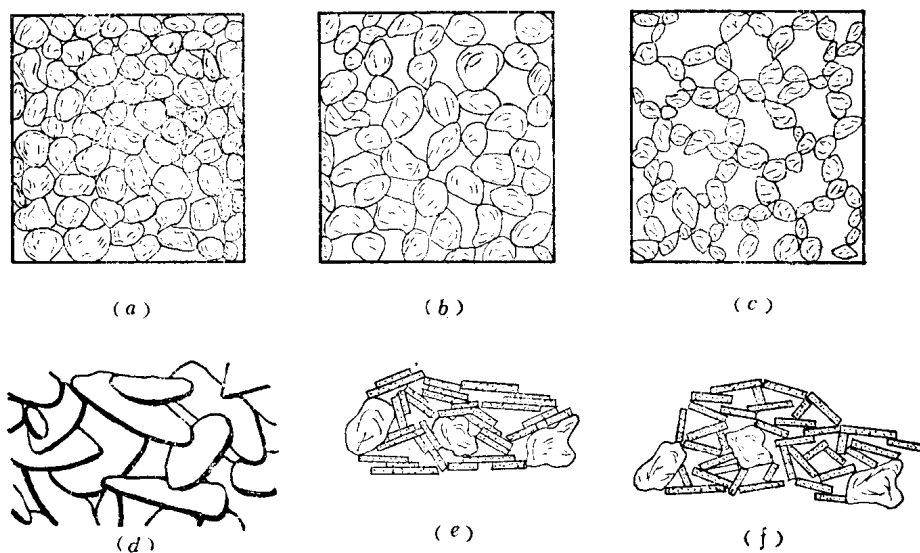


图 1-1-1 土的结构类型

(*a*)单粒结构-密实；(*b*)单粒结构-疏松；(*c*)蜂窝结构；(*d*)架叠结构；(*e*)片堆结构；
(*f*)片架结构

3. 架叠结构 极微小的粘粒大都呈针状或片状，它在水中呈现胶体特性。这主要是由于分子力的作用，使土粒表面附有一层极薄的水膜(见本节末)。这种带有水膜的土粒在水中运动时，它们之间由于引力的影响，可能存在着点、线、面的各种薄片结合的综合型式，然后沉积在一起，形成所谓架叠结构(也称絮凝结构)。如图1-1-1, *d*所示。架叠

*[1.1] 表示第一章引用的第一篇参考文献(见本书末)，以下所用的这类符号的含义与此类同。

结构中，当土粒以面接触为主时，即为片堆结构，如图1-1-1, *e*；当各土粒以点或线接触为主时，即为片架结构，如图1-1-1, *f*。具有这些结构的粘土，其孔隙大，含水量高，故都很疏松。在海水中沉积的粘土多为片架结构，在淡水中沉积的粘土，则多属片堆结构。

在天然情况下，任何一种土类的骨架，都是由大小不同的土粒所组成。所以土的结构不是单一的，常以某种结构为主而由上述几种结构混合组成的复杂型式。

由于目前对土的结构机理的研究还很不够，尤其对粘性土更是如此。因此探讨土的结构特性，特别是微观结构，对于深入了解土的工程特性极为重要。六十年代以前，已发展了建立在架叠结构基础上的粘土性质理论。如美国伦比（Lambe, T.W., 1953）提出原状粘土中矿物颗粒是不规则的架叠结构。我国陈宗基教授于1957年提出粘土中矿物颗粒的架叠图式，已为后来的电子显微镜观测结果所证实。随着电子显微技术的发展，过去用光学显微镜看不见的微粒集合体也能分辨出来。从而有可能研究粘土中微粒的定向排列及其对土的物理力学性质的影响，这对了解土的基本性质有着重要的意义。

二、土的组成

土是松散的颗粒集合体，它是由固体、液体和气体三部分所组成（也称为三相系）。固体部分即为土粒，由矿物颗粒或有机质所组成，这一部分构成土的骨架，骨架中布满着许多孔隙，孔隙为液体、气体所占据。水及其溶解物构成土中液体部分；空气及其他一些气体构成土中的气体部分。这些组成部分之间的数量比例关系和相互作用，决定着土的物理力学性质。

土的各组成部分的数量比例随着土所存在的具体条件的不同而变化。干土的孔隙内仅含有空气，饱和土的孔隙则全充满水。干土和饱和土都属二相土，而湿土的孔隙中既有水又有空气，属三相土。

（一）土的固相

土的固相是由土粒所形成的骨架部分。土粒的矿物成分、含水量、颗粒的大小和结构都对土的性质很有影响。

1. 土粒的矿物成分 土粒的矿物成分主要决定于母岩的成分及其所经受的风化作用。土粒为原生矿物或为次生矿物，在性质上有很大的差别。

常见的砂土全为比较稳定的原生矿物（如石英）所组成，砂粒之间互不粘结。若砂粒内含长石、黑云母等矿物，则易于风化变质。

粉粒主要是由化学稳定的（如石英）或强度较小的原生矿物（如白云母、长石）所组成。

粘粒主要是由次生矿物所组成。较大的粘粒，主要成分为高岭石类矿物。较细的粘粒主要成分为蒙脱石伊里石等类矿物。不同的粘土矿物具有不同程度的亲水性，所谓亲水性，就是和水相互作用的难易性质。亲水性大的土容易吸水膨胀，说明土的抗水能力低，遇水时土的性质易于发生不良的变化。

由于颗粒愈小，其比表面积愈大（比表面积是单位体积中土粒的表面积总和），粒间的联结力就愈强，粘性愈大（见后述“土的液相”），故粘粒含量对土的性质影响很大。

由于有机质易于分解变质，当土中含过量的有机质时，对土的物理力学性质有不利的影响。