

647239

5(3)81

2/2612.2

土力学

(第二版)

〔美〕 吴天行

编著

本藏书

冯国栋

唐介眉

译

刘祖德

陆仕强

冯国栋 校

成都科技大学

一九八二年六月

5(3)81

2/2612.2

5(3)81
7/26/2.2

土 力 学

(第二版)

[美] 吴天行 编著

冯国栋 唐介眉
刘祖德 陆士强 译

冯国栋 校



成都科技大学

译者说明

本书第一版于1966年问世,多年来在我国曾被认为是一本较好的参考书,作者于1977年结合土力学的新发展及其本人的教学经验,对第一版作了补充修改,写出现译的第二版。此书内容包括初级的和部分高级的土力学课程内容,选材适当,编排便于教学中使用,其中因篇幅所限,未能详细介绍的某些专题内容,大都引列有文献以供查考。

本书可供土木、水利、建筑和交通等专业的教学,科研和设计各方面有关人员参考使用。

本书第一至第六章由唐介眉,第九章及第十二章由陆士强,第十至十一章由刘祖德译出,其余部分由冯国栋译编,全书由冯国栋总校。

单位变换

1 英寸(in) = 2.54厘米(cm)

1 英尺(ft) = 0.305米(m)

1 平方英寸(in²) = 6.45平方厘米(cm²)

1 平方英尺(ft²) = 0.0929平方米(m²)

1 立方英寸(in³) = 16.4立方厘米(cm³或cc)

1 立方英尺(ft³) = 0.0283立方米(m³)

1 度(°) = 0.174弧度(rad.)

1 加仑(gal) = 3.79升(l)

1 磅(lb) = 0.454公斤力(kg) = 4.45牛(N)

1 磅平方英尺(psf) = 0.488克力平方厘米(gsc) = 47.9牛平方米(N/m²)

1 磅平方英寸(psi) = 0.0703公斤力平方厘米(kg/cm²) = 6.89千牛平方米(kN/m²)

1 吨平方英尺(tsf) = 0.977公斤力平方厘米(kg/cm²) = 95.8千牛平方米(kN/m²)

1 磅立方英尺(pcf) = 1/62.4克力立方厘米(g/cm³) = 157牛立方米(N/m³)

1 英尺分(ft/min) = 0.508厘米秒(cm/sec)

1 立方英尺分(ft³/min) = 472立方厘米秒(cm³/sec)

注:书内克和公斤分别表示克力和公斤力。

前 言

随着本世纪初期卡尔·太沙基所进行的开拓性研究工作,土力学这门科学开始了迅速的发展。太沙基从实际需要出发,提出不少土力学理论以解决现代建筑所带来的许多困难问题。

虽然土力学和基础工程密切相关,但它们并不是同义的。作为一种专业来说,基础工程是土力学和工程地质学两者巧妙的结合,它带有判断和创新的直观艺术,经验对它起着重要的作用。另一方面,土力学是一门研究一种材料性能的学科。这种材料的最重要特性是它的颗粒组成。由于这一特性并不是土所独有,所以土力学的原理与技术也在诸如地球物理,材料加工以及最近在月球勘探等各式各样课题中得到应用。

这是一本有关土力学的书。主要的论题是土中水的运动,土体的弹性变形和土体的破坏(第2至11章)。在每一部分的开始,先对基本原理加以论述,继而是应用于工程中某些常见问题的实例。并附带讨论了一些根据现场和试验室观察结果而提出的解答的可靠性与局限性。

由于对渗流,变形以及破坏进行分析,要求理解水力学,弹性理论和塑性理论的各种原理,而要用到力学的原理就更不必解释了。然而,天然的各种土体和理想的弹性或塑性材料很有差别。因此本人试图强调材料的各种特性对问题答案的影响,以说明各种特性的重大意义。把理论的和试验的结论用于实际问题,常会涉及到感人的争论以及把我们对有关论题的知识加以综合。这种方法的一些例子,将在第7和11章分析沉降和稳定性时给出。

当问题包括复杂的边界条件或非均质材料时,分析方法就会碰到严重的困难,这两种情况在土力学中又都常见。虽然很多自然现象的复杂变化会使严格的分析方法无法使用,但它们的影响常可用第12章所例示的数值解来加以估计。

分析巨大土体的任何问题时,必须认识材料特性的变化性质。因之从地质学的规模去研究土的各种特性问题,将在第13章加以概括。为了了解土的性能,就有必要研究土粒的微观特性,这些内容将在第14章提出。

经过修订的这一本书,自然要收入一些第一版问世以来已经发表的重大发展。但更重要的动机是要提高这本书作为一本教材的效果。为此目的,书中加入第4章,以图对应力一应变这个主题进行更带根本性的研究。沉降分析被分出作为独立的一章。我还尽可能地试图把初级的课题从更深入的课题分离出来,以使本书可用于不同水平的教学,对初级课程就有可能只用第1,2章以及第5,8,9,和10章的比较基本的部分,对较高级的课程则可加入其他章节。

在本书的第一版不同进程中曾经 O. B. 安德斯兰, Z. C. 莫和 E. 密斯亚泽克三位教授审阅。L. E. 麦尔文教授审阅过弹性和塑性两章。J. K. 米切尔教授审阅过有关粘土的一章。K. N. 亨迪克逊和 R. E. 奥尔森两教授审阅了第二版的底稿,他们的建议都很有价值。

在编写第二版时,我吸取过去八年在不同水平讲授土力学所得的经验,在这次大胆的尝试中,和 H. 格雷, J. R. 霍柏和 C. A. 穆尔三位教授的合作使我受益不浅。我还得对不少我的同事和学生表示谢意,他们常都间接地给我对土力学的理解有值得注目的贡献。

任何一种著作活动都是一种奇异的自我暴露。无疑地它可以很好地反映出一个人负欠了别人多少。

——J. K. 加尔布雷恩《丰裕社会》

T. H. 吴

沃辛顿, 俄亥俄州

符 号

A, B, C, D	常数	Q_f	破坏荷载
A	面积	R	半径; 无因次径向距离
A_r	面积比	S	抗剪强度合力
B	宽度	S_r	饱和度
C	总粘聚力	S_t	敏感度
C_c	压缩指数	T	表面张力; 无因次时间; 温度
C_e	膨胀指数	T_c	弯曲因数
C_s	形状因数	T_r	时间因数
D	直径	U	无因次孔隙水压力
E	弹性模量; 能或功	U_H	一层土的平均固结度
F	滑动面上的合力; 现场强度	U_z	深度 z 处的固结度
F_n	滑力面上的法向力;	V	体积; 位移速度
F_s	安全系数	V_a	空气体积
F_t	滑动面上的切向 (剪切) 力	V_s	固体体积
G	剪切模量	V_v	孔隙体积
G_s	比重	V_w	水的体积
H	厚度; 高度	W	重量
I	分组指数	W_s	固体重量
I_D	密度指数 (相对密度)	W_w	水的重量
I_L	流性指数	X	x 轴向的体积力
I_P	塑性指数	Y	y 轴向的体积力; 无因次电势
K	土压力系数	Z	z 轴向的体积力; 无因次距离; 无因次电势
K_a	主动土压力系数		
K_o	静止土压力系数	a, b, c, d	常数
K_p	被动土压力系数	a	尺寸; 面积
L	长度	b	尺寸
M	力矩; 约束模量; 数	c	因次; 单位粘聚力
N	一个数	c_a	基础与土的粘附力
N_s	稳定数	c_e	赫沃斯列夫的真粘聚力
N_v, N_c, N_q	浅基的承载量数	c_v	固结系数
N_{pv}, N_{pc}	深基的承载量数		孔隙比
P	力; 总压力	f	土与基础之间的抗剪强度
P_a	主动土压合力	h	水头; 垂直距离
P_p	被动土压合力	h_c	毛细水上升高度
Q	集中荷载		

i	水力坡降	Φ	势函数; 应力函数
i_c	临界坡降	Ψ	流函数; 排斥势
k	渗透系数; 博尔兹曼常数	α	角; 主应力面与破裂面夹角
l	距离; 长度	β	角; 下游坡角
m	数	γ	土的容重
m_c	体积压缩性	γ_d	干密度
m_e	体积膨胀性	γ_s	固体的容重
m_v	单向固结的体积压缩性	γ_w	水的容重
n	孔隙率; 数	γ'	潜(浮)容重
n_a	比值; 从墙脚至土压力合力作用点的距离/墙的总高	δ	角; 土与结构物的摩擦角
p	压力	ϵ	应变; 静电荷单位
p_a	主动土压力	ξ	无因次距离
p_c	先期固结压力	η	角; 滞粘系数
p_o	上覆压力	θ	角
p_p	被动土压力	λ	(拉姆常数 $= \frac{\mu E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}); \text{介电常数}$
q	流量; 单位面积的分布荷载	μ	泊桑比
r	半径; 径向距离	ρ	沉降; 位移; 电荷密度
s	抗剪强度	σ	法向应力
t	时间	$\bar{\sigma}$	有效法向应力
u, v, w	x, y 及 z 轴向的位移	σ'	主应力差 $= (\sigma_1 - \sigma_3)$
u	孔隙水压力	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	大主、中主、小主应力
u_i	初始孔隙水压力	τ	剪应力
v	速度; 价	ϕ	内摩擦角
v_a	土孔隙内的流速(同渗透流速)	ϕ_c	赫沃斯列夫的真内摩擦角
$\dot{v}_a, \dot{v}_b$	沿滑动线的速度	ψ	角
w	含水量		
x	水平距离		
y, z	垂直距离		

目 录

单位变换····· (I)

前言····· (II)

符号····· (IV)

第一章 指标特性与分类

1.1 引言····· (1)

／ 土的颗粒····· (1)

1.2 土粒大小····· (1)

1.3 土粒大小分布····· (3)

1.4 土粒形状····· (4)

／ 土的集合体····· (6)

1.5 土的结构····· (6)

1.6 重量—体积关系式····· (7)

1.7 土的容重····· (10)

1.8 阿太堡界限····· (14)

1.9 土的分类体系····· (17)

／ 习题····· (21)

第二章 土中水与水中固相

／ 孔隙压力····· (24)

2.1 引言····· (24)

2.2 饱和土的孔隙水压力····· (24)

2.3 毛细作用····· (25)

／ 土中的水流····· (27)

2.4 达西定律····· (27)

2.5 多孔介质中的水流····· (27)

2.6 渗透系数····· (30)

／ 有效应力原理····· (31)

2.7 饱和土的有效应力····· (31)

2.8 部分饱和土····· (32)

2.9 现场有效应力····· (33)

／ 习题····· (35)

第三章 渗流问题

／ 渗透性····· (37)

3.1 渗透试验····· (37)

3.2 井中抽水····· (38)

3.3 非均质土的渗透性····· (39)

／ 渗流····· (40)

3.4 连续方程····· (40)

3.5 连续方程的解····· (41)

3.6 势函数和流函数····· (42)

3.7 流网····· (46)

3.8 各向异性材料····· (49)

3.9 非均质材料和转换条件····· (50)

3.10 自由表面流和基本抛物线····· (52)

3.11 土坝的渗流实例····· (56)

3.12 渗透力····· (58)

3.13 渗流理论的局限性····· (60)

／ 习题····· (61)

第四章 应力与应变

4.1 点应力····· (66)

4.2 点应变····· (68)

4.3 应力和应变的不变量····· (70)

4.4 应力—应变关系····· (70)

4.5 土的应力—应变关系····· (72)

4.6 超静水孔隙水压力····· (74)

4.7 应力—应变特性测量····· (76)

／ 习题····· (79)

第五章 体积变化和压缩性

5.1 引言····· (83)

5.2 压缩性····· (84)

5.3 现场固结····· (85)

5.4	固结速率	(88)
5.5	太沙基固结理论	(89)
5.6	时间—固结的试验曲线	(94)
5.7	固结的粘—弹性模型	(97)
／	习题	(98)

第六章 弹性平衡

6.1	引言	(101)
6.2	弹性的一些基本关系	(101)
6.3	应力函数和位移函数	(104)
／	边界上的荷载	(105)
6.4	表面荷载引起的土体中的应力	(105)
6.5	感应图	(109)
6.6	应力分布	(112)
6.7	变形	(114)
／	边界上的位移	(116)
6.8	受弯曲的梁	(117)
6.9	抵抗屈服约束的压力	(119)
／	习题	(122)

第七章 沉降分析

7.1	引言	(125)
7.2	砂土受荷载时的沉降	(125)
7.3	粘土受荷载时的沉降	(127)
7.4	尺寸效应	(130)
7.5	设计对沉降的考虑	(134)
7.6	粘土上基础的现场观测	(136)
7.7	无粘性土上基础的现场观测	(140)
／	习题	(142)

第八章 抗剪强度

8.1	破坏理论	(146)
8.2	摩尔—库伦破坏理论	(146)
8.3	直剪试验	(147)
8.4	三轴试验	(149)
8.5	孔隙水压力和体积变化	(152)
8.6	有效应力和总应力的摩尔包线	(152)
／	某些常见土的剪切—强度特性	(154)
8.7	无粘性土的抗剪强度	(154)

8.8	饱和粘土的抗剪强度	(156)
8.9	非饱和击实粘土的抗剪强度	(163)
／	理论研究	(165)
8.10	三维屈服面	(165)
8.11	孔隙比准则	(166)
8.12	粘聚力和内摩擦力	(167)
8.13	加荷速率	(170)
／	习题	(170)

第九章 塑性平衡

9.1	引言	(173)
／	严密解	(173)
9.2	滑动面	(173)
9.3	朗肯土压力理论	(174)
9.4	承载力	(177)
／	近似解	(182)
9.5	太沙基的承载力理论	(182)
9.6	浅基础的承载力	(184)
9.7	深基础的承载力	(186)
9.8	承载力公式的修正	(193)
9.9	用圆弧法分析斜坡	(194)
9.10	用条分法分析斜坡	(199)
9.11	渗流和孔隙水压力对稳定性的影响	(202)
／	上限和下限解	(203)
9.12	静力学许可的(可静)和运动学许可的(可动)状态	(203)
9.13	履带齿片问题	(203)
／	速度解	(206)
9.14	速度场	(206)
9.15	条形基础下的速度场	(209)
9.16	使用塑性理论的局限性	(212)
／	习题	(213)

第十章 土压力问题

10.1	引言	(216)
10.2	变形对土压力的影响	(216)
／	有足够变位的墙	(219)

10.3	光滑墙上的土压力	(219)
10.4	墙背摩擦的影响	(220)
10.5	无粘性土的库伦理论	(221)
10.6	临界高度	(223)
10.7	粘性土的库伦理论	(224)
10.8	超载的影响	(225)
10.9	渗流和孔隙水压力的影响	(228)
／	变位受限制的墙	(229)
10.10	有支撑开挖的变形	(229)
10.11	作用于支撑系统的土压力	(230)
10.12	土压力的现场观测	(231)
／	土体内部的屈服	(233)
10.13	屈服底面以上的压力	(234)
10.14	隧洞上的土压力	(236)
／	习题	(240)

第十一章 稳定性问题

11.1	设计和分析的概念	(242)
11.2	荷载条件	(242)
11.3	稳定性条件	(244)
11.4	饱和原状粘土的稳定性	(245)
11.5	硬裂隙粘土的稳定性	(253)
11.6	无粘性土的稳定性	(254)
11.7	部分饱和压实粘土的稳定性	(255)
11.8	介于粘土和砂土之间的土的稳定性	(258)
11.9	深基础的稳定性	(259)
11.10	设计中考虑的方法	(260)
／	习题	(265)

第十二章 数值解

12.1	引言	(267)
12.2	有限差分方程	(267)
12.3	均质材料中的渗流	(269)
12.4	非均质材料中的渗流	(270)
12.5	竖向排水固结	(272)
12.6	径向排水固结	(276)
12.7	承载力问题	(277)
／	习题	(284)

第十三章 天然土层的特性

13.1	引言	(285)
13.2	土的来源	(285)
／	冲积层	(285)
13.3	网状河流沉积物	(285)
13.4	蜿蜒带沉积物	(287)
／	冰川沉积物	(290)
13.5	冰碛土及冰水沉积物	(290)
13.6	冰川—湖沉积物	(293)
／	风成沉积物	(294)
13.7	风运砂	(294)
13.8	黄土	(294)
／	岩石和残积土	(295)
13.9	残积土	(295)
13.10	分解的岩石	(296)
／	土层的查勘	(297)
13.11	钻探	(297)
13.12	取样	(298)
13.13	触探法	(299)
13.14	地球物理方法	(300)
13.15	地基勘探计划	(301)

第十四章 粘土粒组的特性

14.1	引言	(304)
14.2	原子键	(304)
14.3	粘土矿物	(305)
14.4	排斥势	(307)
14.5	吸引势	(311)
14.6	絮凝与分散作用	(312)
14.7	粘土结构	(313)
14.8	吸附水	(314)
14.9	离子交换	(315)
14.10	粘土的压缩和膨胀	(316)
14.11	粘土的抗剪强度	(317)
14.12	天然土的组成与特性	(318)
／	文献目录	(322)
／	索引	(342)
／	作者人名汉英对照表	(349)

第一章 指标特性与分类

1.1 引言

土是各种矿物颗粒的集合体，它遍布于地球表面的广大地区。在土工工程中，施加于土体的各种力常使颗粒之间产生相对位移。因此，研究土力学就需要评价这种材料的粒状性质。各种土的另一特性，就是它们都为三相系；即由固体颗粒，水和空气所组成。由于空气是很容易被压缩的，水又可从土体流出或流进，这三个组成部分的相对比例就会随时间和荷载而改变。因而，这三个组成部分常被用来对土的性状作定量描述的依据。

本章的第一部分专门描述土颗粒的物理特性，以及用来对这些特性下定义与量测的方法。

第二部分研究土集合体的三个组成部分，以及对规定各组成部分的比例的关系式加以分析。土颗粒和土集合体的这些物理特性构成了各种指标特性，它们被用来对土进行分类和鉴定。许多指标特性都可以与更复杂的工程性质例如渗透性或压缩性发生联系。

土的分类包括把土区分为各类和各亚类，每一类都有某些独特的性质。通过土的分类，就能用土的一些指标特性来描述某一种土，并能表达出有关土的一些重要工程性质的一般资料。然而什么才是“重要性质”，这主要取决于所要研究的问题。因而，就有多种土的分类体系；这些体系的大多数是针对某些专门问题（例如路面设计）而定。因此，不同的分类体系常常使用不同的指标特性。

本章的第三部分，概括了几种常用的土的分类体系。各种指标特性对重要工程特性的意义将在以后各章节加以讨论。

土 的 颗 粒

1.2 土粒大小

很多土的描述和分类都是以土粒大小作为依据。这是描述土的最简单标准。根据土粒大小，常把土定名为砾，砂粒，粉粒和粘粒。这些类别之间的分界线是任定的，这在任意的定义中是常见的，当前使用的系统有好几个。图 1.1 列出其中的三个，它们是一些与土打交道的部门各自提出的系统。

很显然，各种天然土通常都包括多于一种大小的土粒。在这种情况下，就应按主要的组成成分来定土名。例如，某土中主要含粘粒，但也有一些粉粒，就称为粉质粘土。图 1.2 就是美国公路管理局的分类体系，它是一种便于用来定出混合土类名称的一种方法。三角图有三个坐标轴分别表示组成土的粘粒、粉粒和砂粒的含量百分率。对三个组成部分的不同组合，

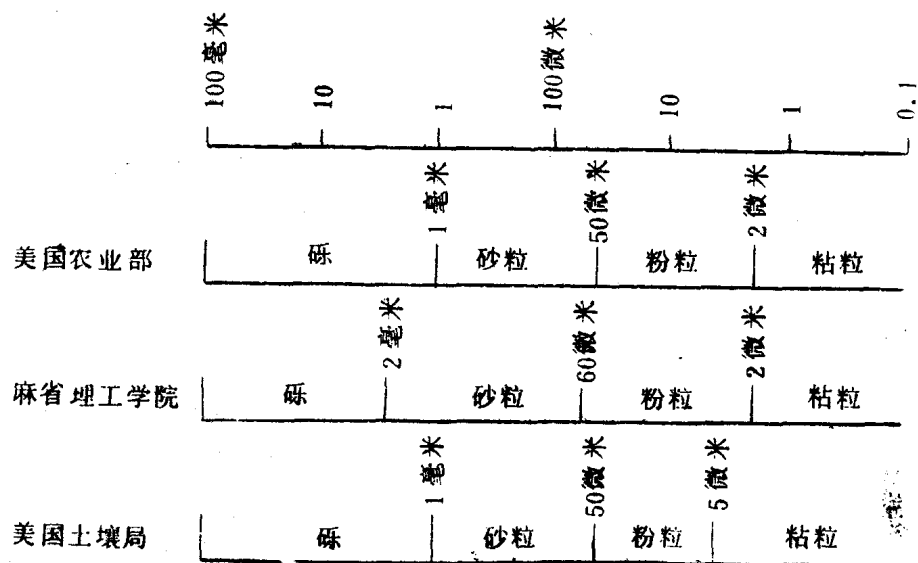


图1.1 按土粒大小对土的分类

给以特定的土名，在三角图中分区标明。如某土由 40% 的砂粒，35% 的粉粒和 25% 的粘粒所组成，则定名为粘壤土。如图 1.2 的 A 点所示。

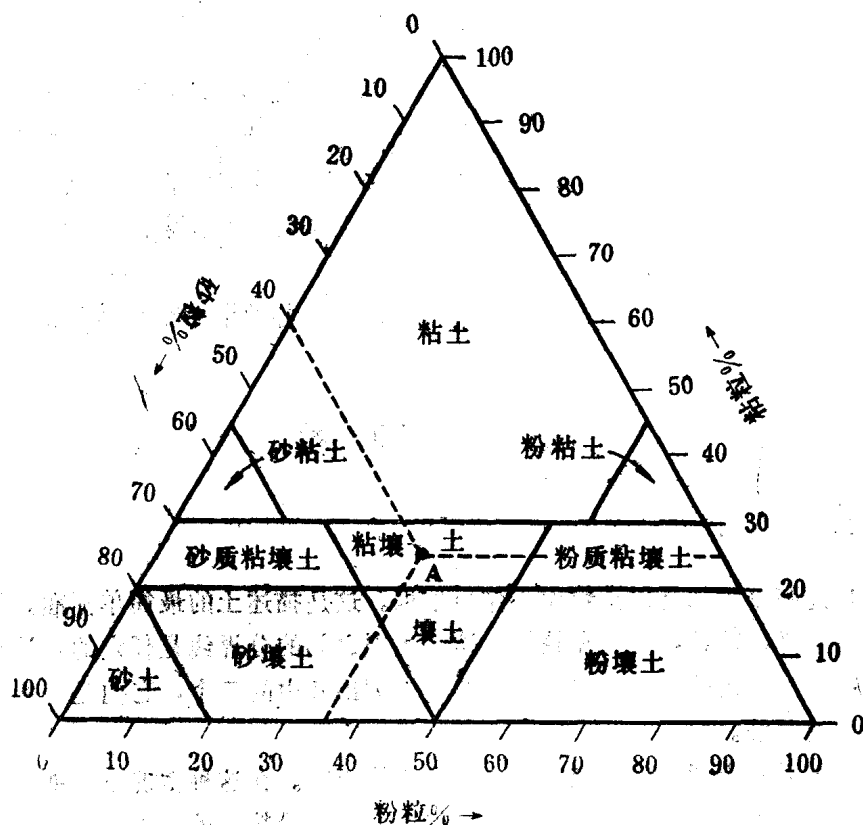


图1.2 公路管理局的土分类体系。

大小分组与土壤局的相同〔图1.1〕。

1.3 土粒大小分布

对土粒大小特性作出适当的描述, 要求确定不同大小范围内土的各种百分率。

筛分析。 如果土粒足够大, 就可用筛分析来确定土粒大小分布。把试样装在一套孔径逐级减小的筛里摇振。表 1.1 给出一个筛分结果的例子。停留在某一筛子上的数量代表其土粒大小大于留在其中的筛子的孔径, 而小于上一筛子的孔径的粒组。其成果可用图 1.3(a) 的频率曲线表示。该图纵座标表示某一特定大小范围内的含量百分率。在工程实践中, 更常用的是累积百分率〔图 1.3(b)〕。图中纵座标表示小于某一指定大小的百分率。把频率曲线上的值累加起来, 就得累积曲线上的值。为了得到小于某一给定大小比如 0.149 毫米 (100*筛) 的百分率, 可从最小粒组开始把频率曲线上小于 0.149 毫米的所有大小范围的各个百分率累加起来 (见表 1.1 的末行)。实用上通常把累积曲线图画成一条平滑曲线。图 13.6 为五种天然土的土粒大小分布曲线。

表 1.1

筛 分 分 析 数 据

筛号	孔径, 毫米	留存在筛上的百分率	小于该筛孔径的累积百分率
8	2.38	0	100
16	1.19	1	99
30	0.590	11	80
50	0.297	27	61
100	0.149	40	21
200	0.074	16	5
400	0.037	5	0

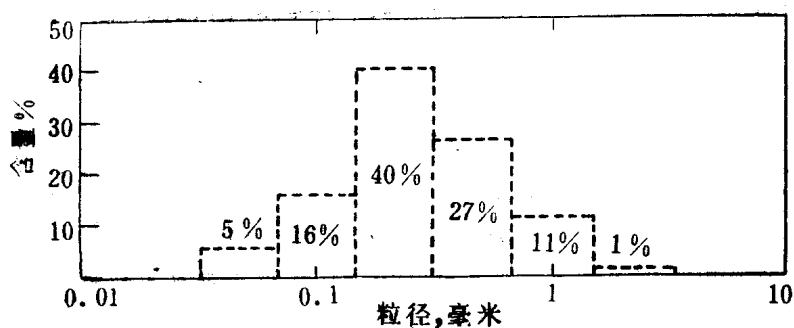
比重计分析。 现有最细的筛孔约为 0.04 毫米, 因而小于 0.04 毫米的土粒, 就需要用比重计分析。分析时, 把土样分散在水中, 做成稀薄的悬浮液。把悬浮液静置不动, 土粒便会沉下至容器底部, 按斯笃克 (stoke) 定律可知, 各种土粒下沉速度与它们的大小有关。较大的土粒首先沉淀。经过某一时段 t , 就只有比某一大小小的土粒仍然浮在悬液里。根据斯笃克定律, 球形土粒在水中下沉速度 (在 t 时间内, 通过垂直距离 y) 是

$$v = \frac{y}{t} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2$$

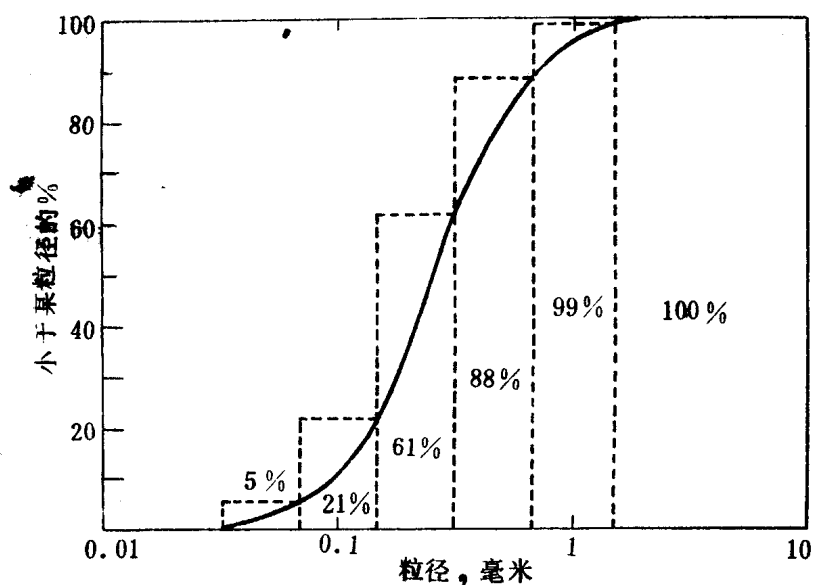
式中 η 表示水的粘滞系数, D 表示土粒直径, γ_s 和 γ_w 分别表示固体土粒和水的容重, y 表示土粒下沉的垂直距离, 由此可得

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{\gamma_s - \gamma_w}} \sqrt{\frac{y}{t}} \quad (1.1)$$

因此, 在深度 y 以上经过时间 t , 悬液中所有土粒的直径 D 都比由式 (1.1) 算得的小。所有较大的土粒都下沉到比 y 大的不同深处。



(a)



(b)

图 1.3 土粒大小分布曲线

浮悬在悬液深度 y 处的那些土粒数量, 可用测量悬液容重的比重计来加以确定。经过率定, 比重计可以直接用来读出悬液中土的克数。于是, 读出时间为 t 时比重计在悬液深度 y 处的读数, 就可定出悬液中土的数量, 并且这些土粒的大小全都比按式 (1.1) 算得的小。

从土粒大小分布曲线可以得到两个经常使用的常数。一是累积曲线上小于某粒径的百分率为 10% 的土粒直径, 我们称之为有效直径 D_{10} 。另一个是均匀系数, 它是累积曲线上小于某粒径的百分率为 60% 的土粒直径 D_{60} 与 D_{10} 的比值。有效粒径有很重要的实际意义, 因为它可以用来估计土的渗透性 (见第二章)。顾名思义, 均匀系数是土粒大小均匀性的一个指标。若某土的土粒大小大约相同, D_{60} 与 D_{10} 就彼此接近, 均匀系数就接近于 1。对土粒大小分布范围大的土, D_{60} 就远大于 D_{10} , 其均匀系数就大。

1.4 土粒形状

上中较大的土粒, 例如粉粒、砂粒和砾石, 其形状可能是浑圆的或多角的。图 1.4 表示

一种含多角土粒的砂的显微照片。土粒的形状可以反映出土料的来源和地质历史。由岩石风化和分解而成的许多土粒，其形状最初都是多角的。后来在被空气，水或冰的搬运过程中受到磨损而减低了突角性。

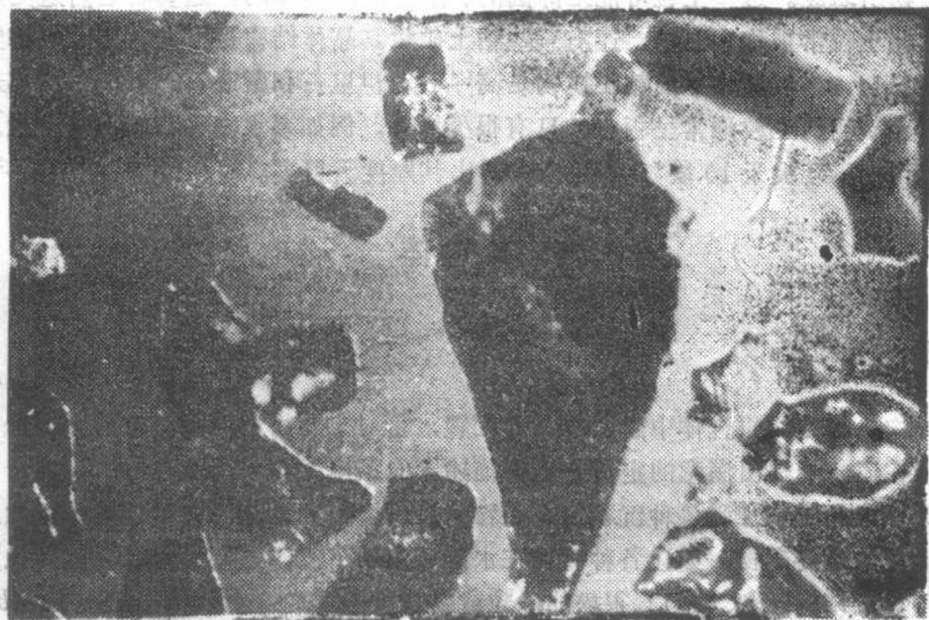


图 1.4 美国乔治亚州一种多角砂的显微照片

有两个用来对形状作定量描述的指标。叫浑圆度和近球度。一个土粒的浑圆度表示为 $\sum_{i=1}^N (r_i/R)/N$ ，式中 r_i 表示一个突角的半径， R 表示内接于该土粒的最大圆半径〔图1.5(a)〕 N 表示该土粒的突角数。故浑圆度用来量度土粒各个突角的尖钝程度。近球度是用来说明土粒与球体接近到什么程度的一个指标，它定义为 D_a/D_e ，式中 D_a 表示把土粒放在它平的一面时，与土粒投影面积相等的直径， D_e 表示该土粒最小外接圆的直径〔图1.5(b)〕。图

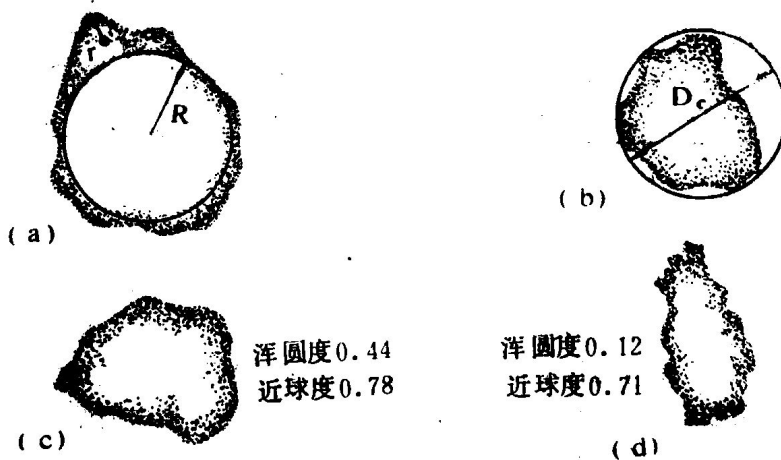


图 1.5 土粒形状

(原书 6, 7 页)

1.5(c) 和 (d) 是两个具有代表性的例子。对于形状的更详细的研究，见克鲁比因和皮太约翰 (1938) 的著作。

粘粒粒组的粒形取决于它们的化学成分和晶体结构。它们可能由磨得很细的石英或其它一些岩石矿物所组成。这些土粒可能是浑圆的、亚角的或多角的，这要看它们遭受磨损的程度而定。这些土粒常被称为石粉。还有一些粘土矿物其晶体结构是由硅，铝，氧和氢的薄片所组成（见图14.3）。最常见的粘土矿物是高岑石，伊里石和蒙脱石。因为它们都是片状结构，各种粘土矿物的土粒通常呈板状，只有很少例外。例如多水高岑石矿物呈管状。单个粘土粒的厚度可能不会大于10埃^{*}，而其宽度常比其厚度大得多。

土的集合体

1.5 土的结构

土的结构是指土的集合体中土粒的几何配置，它对土的物理性质有深刻影响。但很可惜，直到现在还未能提出满意的定量方法来描述土的结构。

各种天然土的结构是受各种沉积力、土粒各种表面力和后来的各种地质作用力之间的相互作用所形成的最终产物。如让各种砂粒在水的悬液中下沉，这些土粒就会沉到稳定的位置而形成一种单粒结构〔图1.6(a)〕。很松的砂粒或粉粒可能形成蜂窝结构，如图1.6(b)所示。如果细小的土粒是由粘土矿物所组成，各种表面力就会产生很重要的作用。如在片状粘粒的边缘或突角与表面之间有着强大的吸引力，就会形成絮凝结构〔图14.10(b)〕。否则各片状粘粒在悬液中下沉时就可能占据几乎平行的位置。这就称为分散结构，见图14.10(a)。

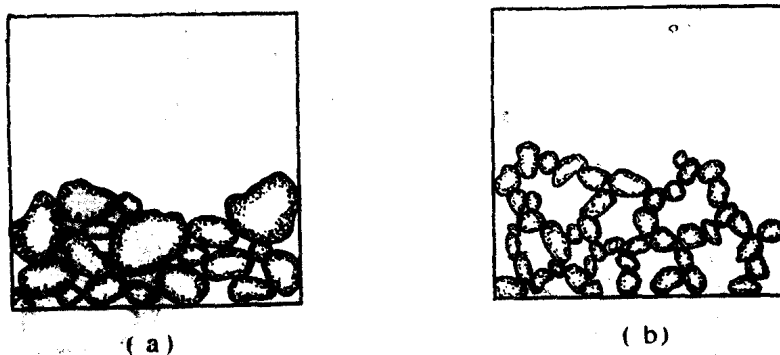


图 1.6 土的结构：(a)单粒结构；(b)蜂窝结构。

具有絮凝结构和蜂窝结构的土，其固体土粒之间有大量的空隙，由各接触点的表面力把土粒联结在一起。这些结构通常不很稳定。当土承受荷载时，接触点可能散开，部分结构便会遭受破坏，于是就压缩空隙而成为足以承受荷载的一种更为稳定的结构。有些土的结构是如此不稳定，在很小的扰动下就可使其结构破坏。如孔隙内充满了水，这种土水混合体的稳

*埃 $\text{\AA} = 10^{-7}$ 毫米——译注

定性就可能完全丧失，而象粘滞液体一样流动。一些实例中包括斯堪的纳维亚和圣劳伦斯河谷（夏普，1938）的高度灵敏粘土中出现的惊人的塑流滑坡。有时可以观测到有些松散的细砂或粉土层，在很小的扰动下，例如轻微地震，邻近的滑坡或甚至潮水的作用也会使它产生流动（佩克和康，1948；太沙基，1957）。灵敏度就是土在体积不变的条件下，原状土的强度与彻底重塑土的强度的比。它反映了由于重塑而破坏土的原始结构时，土强度所遭受损失的程度。

1.6 重量——体积关系式

在这一节里，我们研究用来描述土集合体的各个组成部分之间的各种关系。各种土都是由空气，水和固体土粒组成的三相系。各个组成部分示意地表示在图 1.7 内。空气，水和固体土粒的体积分别用 V_a ， V_w 和 V_s 表示，它们的重量分别用 W_a ， W_w 和 W_s 表示。此外，为空气和水所占据的那部分体积称为孔隙，孔隙体积用 V_v 表示。

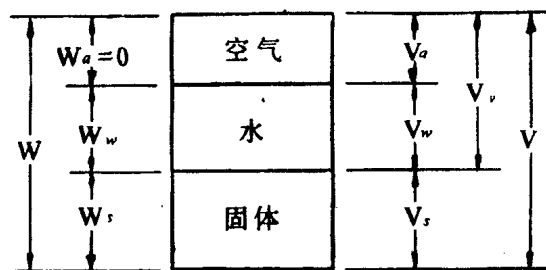


图 1.7 土集合体的各个组成部分

某种土中的孔隙相对含量是一个很有用的量。正如后面各章所指出的那样，它与土性状的许多方面都紧密相关。孔隙相对含量的一个量测指标是孔隙率 n ，它是孔隙体积与土的总体积之比，即

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (1.2)$$

孔隙比是孔隙体积与固体土粒体积之比，即

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1.3)$$

为了表达土集合体中水的数量，我们用含水量或湿度含量 w 来表示，它是水的重量与固体土粒的重量之比，以百分率表示，即

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \quad (1.4)$$

饱和度 S_r 是水所占孔隙体积的百分率，即

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 \quad (1.5)$$

土料的容重或密度*的定义是该土料的体积除它的重量。由于土集合体包含不同的三相物，明确地区分容重所指的是一相或是几相物是很重要的。包含三相物的土的容重用 γ 表示，即

* 原书中容重与密度常常互用，为统一计，以下在与土重计标有关内容均用容重一名——译注。

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w + W_a}{V_s + V_w + V_a} \quad (W_a = 0) \quad (1.6)$$

当量测某土的压实度时，就常用干容重，它是除掉水重而体积保持不变的土容重。由于土在干燥过程中常会收缩，要使其体积不变实际上当然是不容易办到的。因此，干容重是一个假想量，它被用来量测土集合体单位体积中固体土粒的含量。这个量与孔隙比或孔隙率具有同样的重要意义，它表示某一土中固体土粒的相对含量。干容重为

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (1.7)$$

最后，固体土粒的容重 γ_s 为

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (1.8)$$

固体土粒的容重变化不大，因它是代表矿物的容重。固体土粒的比重 G_s 大致在 2.60 与 2.80 之间，而且很少例外。砂土和粉土的平均值是 2.65，粘土的是 2.75。表 1.2 给出了一些天然土的孔隙比的示例。

表 1.2 一些天然土的物理特性^a

土 名	孔隙比 e	含水量 $w, \%$	流限 $LL, \%$	塑限 $PL, \%$	弹性模量 $E, \text{公斤/厘米}^2$	压缩指数 C_c	不排水抗剪强度 $C_u, \text{公斤/厘米}^2$
软粘土, 芝加哥	0.67	26	32	18	40 ^b	0.20	0.20
硬粘土, 伦敦	0.65	24	80	28	700 ^b	0.30	5.00
流动性粘土, 奥斯陆	1.08	40	28	20	—	—	0.08
密实砂, 密西根州	0.55	—	—	—	600 ^c	0.02	—
很松的砂, 特隆赫姆 ^d	0.89	—	—	—	125 ^c	—	—

a 表中给出的数字是在一些特定地点测定，可以想象，这些土的特性，不同地点可能出入很大。

b 无侧限抗压试验中测得的初始切线模量。

c 固结不排水三轴试验， $\sigma_3 = 1.00 \text{ 公斤/厘米}^2$ 时测得的初始切线模量。

d 扰动土样

如果已知各个组成部分的重量和体积，就不难算出上面所定义过的各个量。但是，情况不常是这样。在实际问题中，某些比值，如含水量或容重就比空气，水和固体土粒的体积易于确定。因之，便有必要根据另一些比值如含水量来标出例如孔隙率等比值。只要已知各个组成部分的容重，这些计算就没有什么问题。已知水的容重（62.4磅/英尺³，或1.0克/厘米³），就容易确定固体土粒的比重。空气可以视为无重量的。容重能使体积换算成重量，反之亦然。为了全部确定三个组成部分的数量，就必须知道有关所有三个部分的比例数。由于空气的