

**Geotechnical
Engineering**

岩土工程

中国建筑工业出版社



岩土工程

[澳] I.K.Lee, W.White, O.G.Ingles

同济大学 俞调梅 叶书麟 曹名葆 等 译校

中国建筑工业出版社

本书系统地介绍土力学与基础工程在理论与实践方面的新发展。全书分九章。土的形成、分类和勘察,土的变异性,强度与变形,土体中的水流,沉降与固结,挡土结构物,边坡稳定,基础以及地基处理等;内容丰富、取材新颖,书中有大量例题和习题,可增强读者的趣味性和启发性。可作为大专院校研究生的教材,也可供从事岩土工程的教学、科研、设计、勘察以及土建、水利、交通等院校师生参考。

书末附有英汉和汉英专题名词索引。

IAN K. LEE, WEEKS WHITE, OWEN G. INGLES
GEOTECHNICAL ENGINEERING

1983 Pitman Publishing Inc. U.S.A.

* * *
岩 土 工 程

同济大学 俞调梅 叶书麟 曹名葆 等 译校

*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*
开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 37 字数: 894 千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷

印数: 1—4,200册 定价: 6.20元

统一书号: 15040·5065

译 者 的 话

《岩土工程》一书在1983年出版。著者为澳大利亚新南威尔士大学的I.K.Lee, W.White及O.G.Ingles; 他们分别是岩土工程分析计算与模型试验、岩石力学以及稳定土与概率论应用等方面的著名学者。

译者承著者赠送本书, 阅读后认为这是在丰富的教学上和科学研究经验的基础上写出来的一本书; 取材新颖, 除阐述传统的、公认的理论及经验外, 也注意介绍尚处于发展阶段的一些问题; 书中图表、例题、习题等联系到工程实践; 原著序言中着重提出的十几本岩土工程专著, 以及附列的大量参考文献等, 是很有利于帮助读者自学的。因此认为这对于土木工程学科的本科学生(特别是研究生), 以及从事工程实践与研究工作的工程师将有较大的帮助。

在翻译及校稿过程中, 曾发现一些术语不同于习惯用法。例如, 著者在讨论土中渗流时, 提出了“独立的”(independent)与“从属的”(dependent)孔隙压力这两个术语(见第四章), 这与常用的“静水压力”与“超静水压力”比较, 在基本概念上有了改进; 但译法还不够满意, 可能使读者感觉到不习惯。译者也曾发现原书有若干处错误, 除非常明显者外, 一般均加译注。

译、校者因限于水平, 难免有行文欠妥及错误之处, 特别是对于原书使用术语不同于一般用法, 以及原书和译文中可能存在错误之处, 希望读者给予批评指教。

本书由同济大学土力学与基础工程教研室俞调梅、叶书麟和曹名葆三同志负责主要译校工作。参加翻译工作者有: 孔宪立、高大钊、宰金璋、俞有炜、赵锡宏、董建国、徐和、胡中雄、曹名葆、叶书麟; 参加校对工作者有: 俞调梅、叶书麟、高大钊、魏道琛、曹名葆等同志。另外, 在每章末尾均列出了译、校者的姓名。

在书末的英文专题名词索引中均附列英译, 在中文专题名词索引中也附列中译。另外, 原书未列出符号表, 特予补编, 以便利读者。译者仅对专题名词索引英汉对照部分作了初步工作, 余下的均由中国建筑工业出版社石振华工程师完成; 对于出版社的协助与辛勤劳动, 谨表示感谢!

译 者

一九八五年四月

《岩土工程》译校人员:

第一章	孔宪立	叶书麟	高大钊
第二章	高大钊	叶书麟	
第三章	宰金章	魏道琛	
第四章	俞有炜	俞调梅	
第五章	赵锡宏	董建国	叶书麟
第六章	徐 和	曹名葆	
第七章	胡中雄	俞调梅	叶书麟
第八章	曹名葆	叶书麟	
第七章	叶书麟	俞调梅	
专题名词索引		石振华	

序 言

岩土工程是目前通用的名词，包含着那些可直接应用于求解土与岩石工程问题的一系列学科。企图写出一本包括所有有关问题的专著是不合适的；但是为了大学生、研究生以及职业工程师们的需要，可以编写一本书，来阐明岩土工程原理和实践的纲要。

对于土的性质、成因、结构、化学性质，对于有效应力的概念，以及对于渗流、稳定性和沉降计算中的数学模型方法，必须给予简明的、逻辑性的论述。我们的体验是，在介绍真实的岩土工程结构物的应用之前，学生们对于岩土工程学的“基本原理”是不能领会的。从这一观点出发，我们在整本书中用一系列的例题来说明在实践中的应用，并且说明分析中的步骤，引用真实的而不是用简便的数据。很重要的一点是，对于不同的土的性质，要列出便于参考的资料，以便预估土的性状。

书中连续地给出了重要论文和刊物的参考文献目录，以便查阅本书未涉及的内容。这些参考文献是经过仔细选择的，以便于读者在某一专门范围内进行“有指导的”自学。

我们选用了按结构物种类来组织各章内容，而不是按照科学上更合理的方法分列各章内容，即分成稳定性、变形、水的渗透等章。认为这样的分章对学生和实践工程师们提供比较综合的理解，同时也能较容易地与各个重要岩土工程结构物的实际问题相结合。

各章内容的选择，着眼于对土和岩石性状的近代概念能够作出逐步开展的介绍。我们完全理解有许多优秀的专著在某些专门领域内作了深入的论述；本书的写法，是要让读者自己直接用这些专著。特别要提到下列学科的著者：Baver（土物理学——[或者叫“土质学”——译者]），Grim（粘土矿物学），Loughnan（土的形成和风化），Mitchell（土与岩石的结构、化学和物理特征），De Wiest（地下水工程），Billings（构造地质学），Jaeger和Cook（岩石力学），Taylor（土力学），Terzaghi和Peck（土工学），Winterkorn和Fang（基础工程），Richart等（土动力学），Harr（概率方法），Desai（数值方法），Ingles和Metcalf（土的稳定）以及Schuster和Krizek（边坡稳定）。

对于某些论述，凡是可以较方便地从以上列出专著的一本中找到参考资料的，本书中有意识地作了较简短的论述。内容的取舍，既注意到已经确立的论点，也注意到新近的发展。书中的工程实例和例题，是与文字说明有机地结合起来的，并附有便于参考应用的数字表。可能时总是给出现场和室内试验结果，而不是用简化的或理想化的数字。

本书的内容在很大程度上受到新南威尔士大学本科的岩土工程学课程的影响，也在较小程度上受到研究生课程的影响。这些课程是由土木工程材料系成员逐步制订的；他们对本书内容和形式具有影响，作者表示感谢。S.Valliappan教授，S.J.Hain博士，W.O.Yandell博士以及W.H.Cogill博士评阅了原稿，并提出了许多有价值的建议。Hain博士提供了许多列在各章末尾的习题。

作者深深地感谢J.K.Mitchell教授和R.Gibson教授对本书的述评。许多评论者的积极批评使本书消除了许多缺陷。

对于作者、出版社及编辑允许我们把选用的图和资料引用、复制，我们表示谢意。他们积极的协作很令人感激。

土木工程材料系的秘书和程序编制人员为本书做了许多具体工作。感谢D. McGuckin先生和S. Chandrasekaren博士在编制程序方面的帮助，以及G. Tamaddoni博士在编辑上作出的贡献。插图是E. Wajs夫人绘制的。

作者特别赞扬B. Hegh夫人的技巧和耐心，她为本书打字和多次修改的原稿在一起工作将近两年。

最后，要不是出版社的不断的忠诚、热心和鼓励，力求高质量，那末本书可能还处在开始工作阶段。

换 算 系 数

原单位(被乘项)	换算成	乘 项	原单位(被乘项)	换算成	乘 项
长 度			密 度		
英寸(in)	毫 米	25.40	克每立方厘米(g/cm ³)	吨每立方米	1
英尺(ft)	米	0.3048	力		
码(yd)	米	0.9144	磅力(lbf)	牛 顿	4.4482
面 积			盎司力(ozf)	牛 顿	0.2780
平方英尺(ft ²)	平 方 米	0.0929	磅达(pdl)	牛 顿	0.1383
平方英寸(in ²)	平方毫米	645.20	力 矩		
体 积			磅力英尺(lbf.ft)	牛 顿 米	1.356
立方英寸(in ³)	立方厘米	16.39	磅力英寸(lbf.in)	牛 顿 米	0.1130
立方英尺(ft ³)	立 方 米	0.02832	应力和压力		
速 度			英吨力每平方英寸(tonf/in ²)	兆帕斯卡	15.44
英尺每秒(ft/s)	米 每 秒	0.3048	磅力每平方英寸(lbf/in ²)	千帕斯卡	6.895
质 量			英寸水柱(ins H ₂ O)	帕 斯 卡	249.1
磅(lb)	千 克	0.4536	英寸汞柱(ins Hg)	帕 斯 卡	3386
英吨	吨(1000千克)	1.016	巴	千帕斯卡	100
盎司(avoirdupois)(oz)	克	28.35	千克力每平方厘米(kgf/cm ²)	千帕斯卡	98.07
单位长度质量			达因每平方厘米(dynes/cm ²)	千帕斯卡	10 ⁻⁴
磅每英寸(lb/in)	千克每米	17.86	粘 滞 度		
磅每英尺(lb/ft)	千克每米	1.488	泊(gm·sec/cm ²)	帕斯卡秒	0.1
密 度			施(cm ² /sec)	m ² /sec	10 ⁻⁴
磅每立方英寸(lb/in ³)	吨每立方米	27.68	能 量		
磅每立方英尺(lb/ft ³)	千克每立方米	16.02	卡	焦 耳	4.187

注：容重(γ , kN/m³)和密度(ρ , t/m³)与重力加速度(g , 9.81m/sec²)有关。这两个名称可以自由地选用。

目 录

第一章 土的形成、分类和勘察

1-1 前言	1	1-3 土的形成	22
1-2 土的性质和成分	2	1-3-1 风化	22
1-2-1 土的粒组	2	1-3-2 运积土	25
1-2-2 粒径分布	7	1-3-3 粘土矿物	26
1-2-2-1 筛分法	8	1-3-3-1 X射线衍射	30
1-2-2-2 沉淀法	9	1-3-3-2 差热分析(DTA)	30
1-2-3 颗粒形状	10	1-4 土的分类	31
1-2-4 相的关系	12	1-5 土的勘探	39
1-2-5 粘土的含水量	16	1-5-1 区域勘察	39
1-2-5-1 Atterberg界限	16	1-5-2 钻探和取样	43
1-2-5-2 活动性	19	1-5-3 现场勘探——野外试验	47
1-2-5-3 土的吸力	19	1-6 室内试验	56
1-2-5-4 膨胀和收缩	20	1-7 习题	59

第二章 土的变异性

2-1 前言	62	2-4-2 线性模型参数	79
2-2 子样的特性	63	2-5 概率估计	79
2-2-1 数据的图示	64	2-5-1 概述	79
2-2-2 数据分析	65	2-5-2 Bayes法则	80
2-2-3 成对观测的数据	68	2-5-2-1 Bayes法则的应用	81
2-3 数据分析——总体模型	68	2-5-2-2 正态分布模型的应用	84
2-3-1 正态分布	68	2-6 变异性概念的应用	84
2-3-1-1 正态分布的应用	70	2-6-1 概述	84
2-3-1-2 按正态分布得到的有用 界限值	71	2-6-2 场地勘察	85
2-3-2 其它分布	72	2-6-2-1 取样方式	85
2-4 数据分析——总体模型参数	73	2-6-2-2 试验的准确性和精密度	85
2-4-1 正态分布总体	73	2-6-3 原因与效果	87
2-4-1-1 平均值和方差	73	2-6-4 关联性和可靠性	91
2-4-1-2 置信估计	74	2-6-4-1 概述	91
2-4-1-3 样本容量	77	2-6-4-2 关联性	92
2-4-1-4 经过删改和截尾的子样	77	2-6-4-3 可靠性	93
2-4-1-5 不纯的子样	78	2-6-4-4 破坏概率	94
		2-7 习题	99

第三章 强度和变形

3-1 前言	101	3-5-1 十字板试验	133
3-2 有效应力原理	102	3-5-2 触探试验	134
3-2-1 饱和土	102	3-5-2-1 标准贯入试验 (SPT)	134
3-2-2 非饱和土	103	3-5-2-2 静力触探	135
3-2-3 排水和不排水状态	104	3-5-3 载荷试验	136
3-3 破坏的概念	105	3-5-3-1 荷载板承载力试验	136
3-3-1 破坏理论	105	3-5-3-2 螺旋板载荷试验	137
3-3-2 单调荷载下的破坏	107	3-5-3-3 桩的载荷试验	137
3-3-3 循环荷载下的破坏	108	3-5-4 旁压仪试验	137
3-3-4 莫尔-库仑破坏准则	109	3-5-4-1 Ménard 旁压仪	137
3-4 强度和变形试验的原理	111	3-5-4-2 自钻式旁压仪	138
3-4-1 应力状态	111	3-5-5 地震试验	139
3-4-1-1 三维应力状态	111	3-5-5-1 折射测量	139
3-4-1-2 平面应变的应力状态	112	3-5-5-2 跨孔法测波速	139
3-4-1-3 轴对称、三轴和单轴应力 状态	112	3-5-5-3 稳态振动试验	139
3-4-1-4 K_0 应力状态	114	3-6 实验室试验	140
3-4-2 应力叠加	115	3-6-1 平面应变和三维试验	140
3-4-3 应力路径	116	3-6-2 三轴试验	140
3-4-4 试验控制	118	3-6-2-1 不固结不排水 (UU) 试验	141
3-4-4-1 应力与应变的控制	119	3-6-2-2 固结不排水 (CU) 试验	143
3-4-4-2 孔隙水压力的控制	120	3-6-2-3 固结排水 (CD) 试验	144
3-4-4-3 孔隙气压力的控制	120	3-6-2-4 非饱和土试验	144
3-4-5 量测	121	3-6-2-5 动力试验	144
3-4-5-1 电测传感器	121	3-6-3 无侧限压缩试验	146
3-4-5-2 总应力的量测	122	3-6-4 K_0 压缩试验	146
3-4-5-3 应变量测	122	3-6-5 剪切试验	147
3-4-5-4 孔隙水压力的量测	123	3-6-5-1 直剪试验	147
3-4-5-5 孔隙气压力的量测	124	3-6-5-2 单剪试验	148
3-4-5-6 吸力的测定	124	3-6-6 共振柱试验	149
3-4-6 强度和变形参数的计算	125	3-7 土的强度和变形参数	150
3-4-6-1 强度参数	125	3-7-1 不经受反复应力的无粘性土	150
3-4-6-2 变形参数	129	3-7-2 经受反复应力的无粘性土	154
3-4-6-3 等代弹性参数	130	3-7-3 不经受反复应力的粘性土	157
3-4-6-4 直接变形参数	131	3-7-4 经受反复应力的粘性土	162
3-4-6-5 孔隙压力参数	132	3-7-5 具有亚稳定结构的土	163
3-5 强度与变形的现场试验	132	3-8 习题	165

第四章 通过土体的水流

4-1 前言	167	4-2 渗流定律	168
--------------	-----	----------------	-----

4-2-1 饱和土	168	4-5-1 水头和水流方向作为边界条件	191
4-2-1-1 渗透性的室内量测	170	4-5-2 流线边界	193
4-2-2 非饱和土	174	4-5-3 渗流引起的不稳定性	194
4-2-2-1 实验室内量测渗透性	175	4-5-3-1 渗透力	194
4-2-2-2 渗流定律	175	4-5-3-2 液化	195
4-2-3 岩石	176	4-6 渗流方程式的求解	196
4-3 渗透性的现场量测	179	4-6-1 数学解	196
4-3-1 变水头试验	179	4-6-2 流网的图解法	196
4-3-2 常水头试验	183	4-6-3 有限差分法	196
4-4 渗流速率	185	4-6-3-1 直接求解	198
4-4-1 一维水流	185	4-6-3-2 松弛法	198
4-4-2 二维水流	187	4-6-4 有限单元法	198
4-4-2-1 各向同性土	189	4-6-5 随机游动法	199
4-4-2-2 各向异性土	189	4-6-6 渗流的模拟法	200
4-4-2-3 非连续介质	190	4-7 结语	203
4-4-3 轴对称水流	191	4-8 习题	204
4-5 流网	191		

第五章 沉降与固结

5-1 前言	206	5-3-2-2 竖向排水	240
5-2 土的压缩性	207	5-4 多维沉降	243
5-2-1 一维主固结和次固结沉降	207	5-4-1 瞬时沉降和最终总沉降	243
5-2-1-1 固结试验的局限性	212	5-4-2 沉降速率	245
5-2-1-2 先期固结应力的确定	213	5-4-2-1 精确解	246
5-2-1-3 现场压缩曲线	214	5-5 次固结	250
5-3 主沉降(固结)速率	216	5-6 土参数的量测	252
5-3-1 一维(固结)理论	216	5-6-1 固结试验	252
5-3-1-1 恒总应力——线性理论	219	5-6-2 恒应变率的试验	256
5-3-1-2 可变的总应力——线性理论	226	5-6-3 恒应力速率的试验	260
5-3-1-3 可变厚度——线性理论	230	5-6-4 径向固结仪(Rowe)	262
5-3-1-4 层状土——线性理论	231	5-6-5 现场试验	263
5-3-1-5 恒总应力——非线性理论	236	5-6-5-1 沉降数据	263
5-3-2 轴对称固结	237	5-6-5-2 现场孔隙压力数据	265
5-3-2-1 三轴试样的固结	238	5-7 习题	266

第六章 挡土结构

6-1 前言	271	6-4-1-1 主动侧压力—— $c=0$ 的土	283
6-2 土体中的极限应力状态	273	6-4-1-2 主动侧压力—— c 和 $\varphi \neq 0$ 的土	290
6-3 中间应力状态	278	6-4-2 Coulomb解和极限解	294
6-4 刚性挡土墙上的土压力	281	6-5 被动土压力分析	296
6-4-1 Coulomb分析法	283		

6-6 稳定性分析	296	6-6-5-1 短期稳定性, $\varphi = 0$ 的分析	303
6-6-1 刚性挡墙	296	6-6-5-2 长期稳定性, $c = 0$, φ 的分析	305
6-6-2 框格式墙	298	6-6-6 土层锚杆	306
6-6-3 笼石	299	6-6-6-1 锚块	307
6-6-4 加筋土挡墙结构	299	6-6-6-2 灌浆锚杆	308
6-6-4-1 加筋条中的最大拉应力	299	6-6-7 锚定挡墙	309
6-6-4-2 粘着强度	302	6-6-8 结构的混凝土挡墙	309
6-6-4-3 回填土	303	6-7 习题	310
6-6-4-4 加筋条的耐久性	303		
6-6-5 锚定板桩墙	303		

第七章 边坡的稳定性

7-1 前言	312	7-3-1-5 复合破坏面	344
7-1-1 专门术语	312	7-3-2 极限状态分析	347
7-2 失稳的机理类型	313	7-4 稳定性	348
7-2-1 旋转型破坏面	313	7-4-1 安全系数	348
7-2-2 平移式滑坡	317	7-4-2 概率分析的方法	349
7-2-3 流动	320	7-5 分析方法的适用性	352
7-2-4 蠕变	320	7-5-1 无粘性土	353
7-2-5 倒塌和倾覆	321	7-5-2 黄土	354
7-3 稳定分析的方法	321	7-5-3 原状粘性土	354
7-3-1 极限平衡方法	322	7-5-4 硬裂隙粘土	355
7-3-1-1 平移式破坏面	322	7-5-5 岩石	356
7-3-1-2 圆弧破坏面	325	7-6 滑坡的监测与控制	358
7-3-1-3 均匀土	331	7-7 习题	359
7-3-1-4 各向异性土	341		

第八章 基 础

8-1 前言	362	8-3-4 容许承载力	386
8-2 基础体系	365	8-3-5 墩和桩	387
8-2-1 独立基础	365	8-3-5-1 轴向受荷桩	387
8-2-2 联合基础	365	8-3-5-2 横向受荷桩	392
8-2-3 条形基础	365	8-4 应力分布分析	396
8-2-4 片筏基础	365	8-4-1 基本解	396
8-2-5 壳体基础	367	8-4-1-1 条形荷载	398
8-2-6 桩基础	367	8-4-1-2 圆形受荷面积	398
8-3 稳定性分析	368	8-4-1-3 矩形受荷面积	398
8-3-1 无埋深和浅埋的基础	368	8-4-1-4 经验方法	403
8-3-1-1 上限解和下限解	369	8-5 浅基础的沉降分析	404
8-3-1-2 实用解	374	8-5-1 容许沉降量	404
8-3-2 层状地基上的基础	382	8-5-2 常规方法	405
8-3-3 非均匀地基上的基础	385	8-5-2-1 沉降与时间关系	405

8-5-2-2 线弹性分析.....	410	8-6-1-2 无粘性土中的桩.....	424
8-5-3 无粘性土上的基础.....	412	8-6-2 桩群.....	425
8-5-3-1 Terzaghi-Peck方法.....	412	8-6-2-1 一般分析.....	425
8-5-3-2 Meyerhof方法.....	413	8-6-2-2 无粘性土中的桩群.....	427
8-5-3-3 按圆锥触探试验的确定 方法.....	413	8-7 横向受荷桩.....	427
8-5-4 沉降分析的近代方法.....	415	8-7-1 位移分析.....	427
8-5-4-1 典型模量法.....	415	8-7-2 $P-y$ 曲线的确定.....	435
8-5-4-2 有限单元法.....	420	8-8 片筏基础.....	440
8-6 桩基沉降分析.....	422	8-9 基础的动力分析.....	441
8-6-1 单桩.....	422	8-10 结语.....	445
8-6-1-1 一般分析.....	422	8-11 习题.....	446

第九章 地基处理

9-1 前言.....	450	9-2-9-2 加热法.....	480
9-2 深层处理.....	452	9-2-10 灌浆法.....	482
9-2-1 爆破法.....	452	9-2-10-1 粒状剂和化学剂灌浆.....	483
9-2-2 振动压密法.....	456	9-2-10-2 置换灌浆.....	487
9-2-3 挤密桩.....	459	9-2-11 其它方法.....	488
9-2-4 动力固结法.....	460	9-2-11-1 土工织物和网.....	488
9-2-5 预压法.....	461	9-2-11-2 预湿法.....	488
9-2-5-1 概述.....	461	9-2-11-3 换土法.....	489
9-2-5-2 堆载预压法.....	462	9-3 表层处理.....	489
9-2-5-3 超载预压法.....	463	9-3-1 压实.....	489
9-2-5-4 石灰桩.....	470	9-3-1-1 实验室压实技术.....	491
9-2-6 电渗法.....	471	9-3-1-2 现场压实.....	491
9-2-6-1 工程实例.....	475	9-3-1-3 质量保证.....	492
9-2-7 就地拌和桩.....	476	9-3-2 化学稳定剂.....	500
9-2-8 碎石柱.....	477	9-3-2-1 石灰稳定土.....	500
9-2-9 热处理.....	479	9-3-2-2 水泥稳定土.....	502
9-2-9-1 冻结法.....	479	9-4 习题.....	508
10 参考文献目录.....	511		
11 按专题的参考文献的著者索引.....	538		
12 专题名词索引.....	546		
英汉对照部分.....	546		
汉英对照部分.....	564		

第一章 土的形成、分类和勘察

1-1 前 言

本章的主要目的是：要讲到土的结构以有助于理解其工程性能的诸方面，这只能是很简单的；以及概括叙述对于与岩土工程规划有关的土性的现有量测技术。

土是由岩石的物理风化和化学风化生成的。这些分解的产物或者保留在原地，或者由风、水或冰川搬运而形成新的沉积物。所有土类的一个显著特征是它们的粒状性质，这就是说，土是由颗粒与或大的或微小的孔隙组合起来的。这些孔隙被水和空气填充。粘土颗粒由粘土矿物结构所构成；而砂粒通常是二氧化硅，但也有例外。

在进行讨论土的工程特性之前，考虑土的性质是有必要的。我们在从讨论土的颗粒成分开始，首先明确颗粒大小、级配和形状的意义。而后才有可能使用一个非常简单的模型，即把土作为是由固体、液体和空气的可量测的质量和体积所组成，由此可建立一系列非常有用的定义和关系式。

孔隙水的性质和数量对于饱和粘土及非饱和粘土的工程性能具有很重要的影响。将引入一些概念，例如塑性，以及含水量变化引起的体积变化。

然后，要简短地讨论土的形成和结构。风化作用可以是非常复杂的，必须在广泛范围内进行研究才能理解详细的机理。下面介绍那些认为是对于理解土的性质与分类是必要的几个方面。为了对这个简短叙述进行补充，还有详细的出版物，如Mitchell (1976a)，Loughnan (1969)。

同样，必须讨论粘土结构和性质的一些基本概念。我们将考虑基本的四面体与八面体晶格，不同的粘土矿物就是由这种晶格组成的。对于这些矿物的性质目前已经有很好的理解。已知粘土矿物的类型和相对含量时，就可以预估土的工程性能。关于详细论述这种知识的技术，将予以介绍。

岩土工程师首先要求掌握应用于分类体系的词汇（术语）。然后给读者介绍不同的分类体系，以及一个广泛采用的工程分类体系，即“土的统一分类法”。系统组织的观察的重要性，这反映地区和地形的研究中，以及能够从观察中得出的推断。

也将考虑到岩土工程师所具备的用以确定土的工程性质的那些技术。将要看到，某些勘探技术特别适用于大区域范围内土性的确定。更专门的现场勘察需要钻探和取样；野外的或局部地点的试验技术是非常有价值的。这些技术包括：原位的强度和变形量测、饱和土的孔隙压力量测或非饱和土的吸力量测。应该注意到，确定竖直的和水平的位移、旋转、作用在结构上的土压力以及孔隙压力等，这些技术一般是用来记录已完成结构的性状，或者在施工过程中帮助作出决定。然后，将讨论关于强度、变形、与时间有关的性质，以及其他基本性质的室内量测。

1-2 土的性质和成分

1-2-1 土的粒组

Hawkes和Webb(1962)把土定义为:“覆盖在坚固岩石上的任何松散表层材料”。在许多定义中间,这个定义用于工程看来是最好的。然而必须理解,不包括存在于泛指“地表面”或土与空气界面上的植物和生物。

这样,土的概念不仅包括有风化岩屑以及无机沉积,有机的泥炭和植物根的堆积,而且还有工业社会的各种各样的废料和碎砖破瓦。

“松散”这个词选择得特别好,它意味着土的两个最基本特性,即土这个不连续介质中间断(不连续)的出现频率,以及颗粒间中较低的连结强度。由于连结强度是两个表面之间或两个单元部分之间距离的反函数,所以低的连结强度通常意味着距离较大的间断,反之亦然。土的许多工程性能是由三个量控制的,即间断出现的频率及其大小,以及土体的化学成分。

即使是“坚固”岩石也含有不连续和低连结强度的带。因此,“松散”与“坚固”的区别成为带有随意性的定义。在土工中,这个随意选定的尺寸划分,通常取150mm的粒径;但是,比这大得多的粒径(“漂石”,粒径大于300mm)没有上限;有时是被发现埋藏在较细粒的土中,称为土中的“漂浮物”,并且被认为是整个土体的一部分。

土按粒径[●]分类是通用的方法。已经提出过不同的不连续尺度(discontinuity scales);图1-1a给出了其中的四种。这些分类法中主要的区别是粉土与砂之间的限界。可以进行筛分析的最小尺寸在55到75微米之间。为了确定较细粒径的分布,必须采用沉淀试验法;能够用沉淀法来量测出的最大粒径是50到60微米。这样,采用60微米作为砂-粉土界限看来是合理的。

粘土与粉土之间的限界也是存在着难题。按照古老的习惯,“粘土”这个词意味着某些性质,例如收缩性和粘着性,这些性质是由于颗粒尺寸,也是由于化学成分和颗粒形状。例如,几乎所有的“粘土”都具有片状的形式(二维的或板状的),见图1-2b;表1-1;而非粘性土粒组主要是(但并非全部)三维的,不管颗粒的尺寸如何——见图1-2b。

真的“粘土”的粒径可达20微米,而“非粘土”颗粒最小可达1微米。因此,建议粉土与粘土的分界线,部分地以实验室沉淀时间为基础。这个时间由Stokes定律确定(见公式1-1)。

取2微米作为划分界线时,按标准方法,把粉土颗粒(比重2.65~2.70)从粘土分离出来约需要7.5小时。这样的划分,对于非粘土的材料是相当完善的,但对于偶有的较粗粘土,特别是高岭土,就不怎样令人满意了。

图1-1b说明了测定粒径的几种方法的应用范围。

象不连续性那样,土体的连结强度是在最大与最小值(零)之间连续地变化的;因

● 对于土的粒组在古代已经有了敏锐的认识,这可以从中国的“砾”字看出来。“砾”字由“乐”(音乐)及“石”(石子)组成,这意味着只有这种粒径的石子才能在流水作用下发出音乐那样的声音。

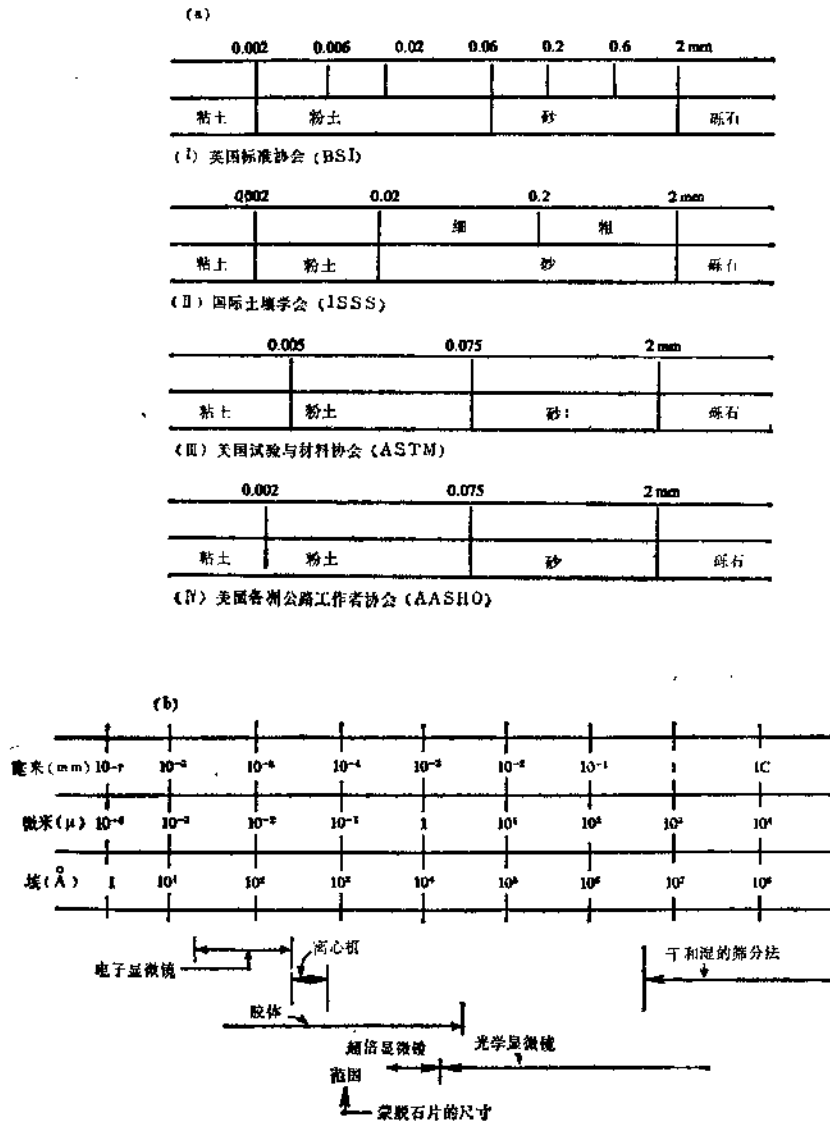


图 1-1 土颗粒和它们的名称

a—不同的命名系统; b—粒径的量测方法

	$\text{\AA}$	mm
肉眼可见	5×10^5	5×10^{-2}
干和湿的筛分法	$5 \times 10^5 +$	$5 \times 10^{-2} +$
沉淀法	10^3 到 2×10^6	10^{-2} 到 2×10^{-1}
超倍显微镜	50 到 5×10^3	5×10^{-9} 到 5×10^{-4}
显微镜	50×10^3 到 10^6	5×10^{-4} 到 10^{-1}
离心机分析	5×10^3 到 5×10^4	5×10^{-6} 到 5×10^{-3}
X射线衍射	20 到 10^3	2×10^{-6} 到 10^{-4}
电子显微镜	10 到 2×10^5	10^{-9} 到 2×10^{-3}

土 矿 物 (Ingles 1968)

表 1-1

	品格结构	一般尺寸和形状	矿物种类	矿 物
各向同尺 度的	三 维 的 (空间的)	+20 μ	硅酸盐	长石(KAlSi_3O_8 ; $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ 等); 沸石 橄榄石($(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$) 榍石(CaTiSiO_5)等
			氧化物	石英(SiO_2); 赤铁矿(Fe_2O_3) 磁铁矿(Fe_3O_4)
			碳酸盐	方解石(CaCO_3); 白云石($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 菱铁矿(MgCO_3)
			硫酸盐	石膏(CaSO_4)
		颗粒表面层 (可以是任何尺寸)	含水的 氧化物	蛋白石($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$); 不同成分的水铝英石, 以及含水的 氧化铁和氧化铝
非各向同 尺度的	二 维 的 (平面的)	-20 μ	硅酸盐	蛭纹石, 高岭石, 云母, 蒙脱石, } 粘土矿物 伊利石, 绿泥石, 埃洛石等
			含水的 氧化物	水铝石($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 水镁石($\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$); 硬水铝石($\text{AlO}(\text{OH})$) 针铁矿($\text{FeO}(\text{OH})$); 铝土矿等
	一 维 的 (单向的)	很细的丝(针), 可以是任何长度	硅酸盐	辉石类(例如 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$); 角闪石 绿坡缕石($\text{Mg}_5\text{Si}_7\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)
			氧化物	丝(针)状氧化硅(SiO_2)

图 1-2a 高岭石的显微镜图像($\times 15000$)

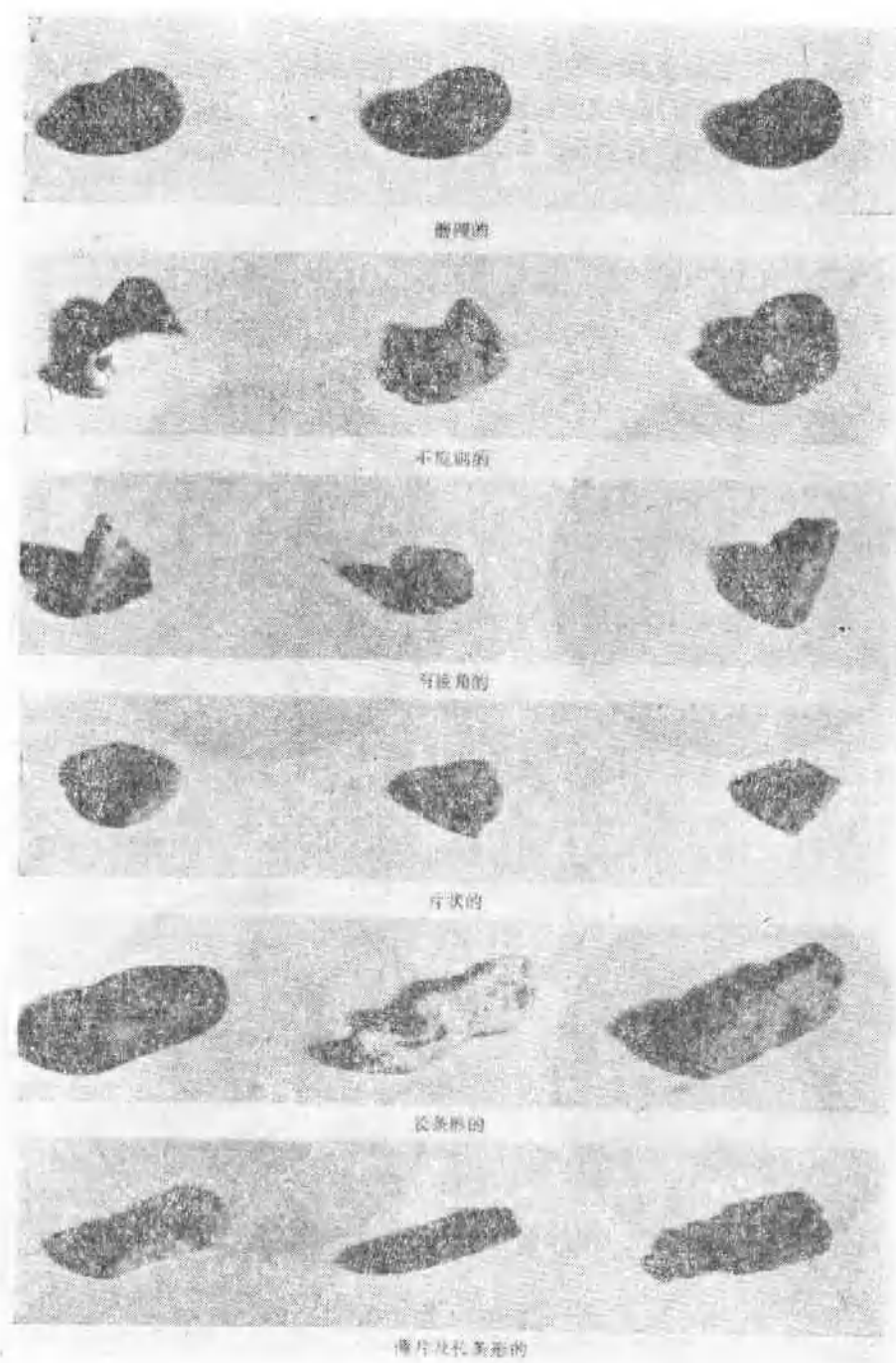


图 1-2b 代表性的颗粒形状及名称