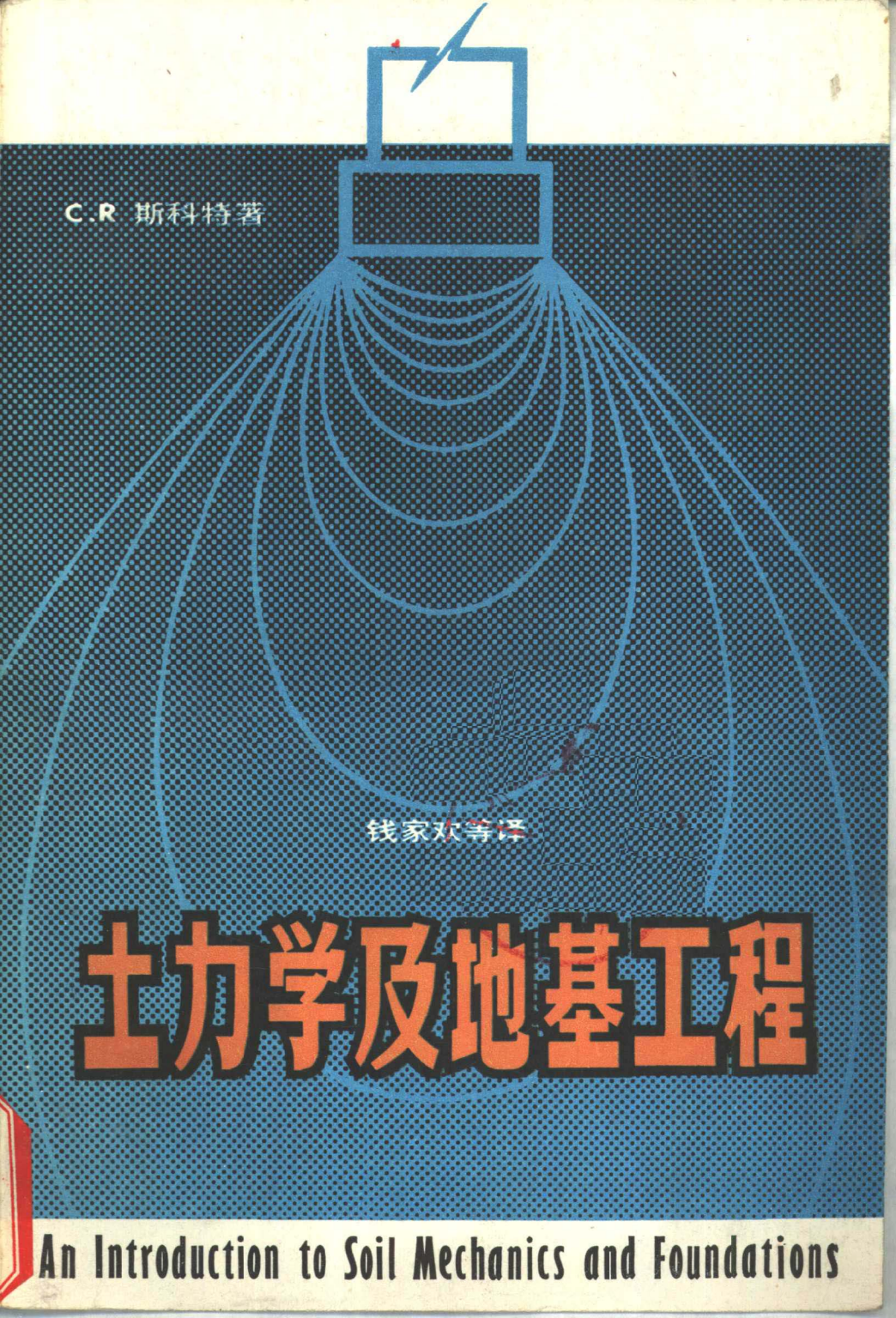




C.R 斯科特著

钱家欢等译

土力学及地基工程

An Introduction to Soil Mechanics and Foundations

土力学及地基工程

C.R.斯科特著

钱家欢等译



76
水利电力出版社 zh

内 容 提 要

本书是C.R.Scott的“An Introduction to Soil Mechanics and Foundations” (Third Edition, Applied Science Publishers) 的译本。原书为国外最近英文版中内容较深的土力学方面的大学本科用书。全书共分十五章, 内容包括土力学的基本理论(第一章至第八章), 以及这些基本理论在地基工程中的应用(第九章至第十五章)。

本书对粘土矿物及土中水对粘性土性状的影响解释得比较清楚, 对通用的分析及设计方法, 严格地阐述了其简化过程及适用的场合, 而这些都是值得国内借鉴的。本书是一本较好的土力学方面的参考书, 可供土建、水利、水电等方面的科技人员参考。

土力学及地基工程

C.R. 斯科特著

钱家欢等译

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 11.625印张 308千字

1983年2月第一版 1983年2月北京第一次印刷

印数0001—9310册 定价1.45元

书号 15143·5035

译者序

“土力学及地基工程”(An Introduction to Soil Mechanics and Foundations)是国外最近英文版中内容较深的一本土力学方面的大学本科用书,因此译本略去原书名中“引论”两字。全书包括土力学的基本理论(第一章至第八章)以及这些理论在地基工程中的应用(第九章至第十五章)。

根据作者的自序,原书的编写保持了两个特点:“第一是粘土矿物及土中水对于粘性土性状的影响解释得比较清楚,不但另辟专章叙述,而且在以后讨论到土的渗透、压缩、膨胀、强度等性质时,都是以土的内部结构,也就是以土的内在因素加以说明的;第二是对于通用的分析及设计方法,严格阐述了它们的简化过程和适用场合。不理解这些,会引起设计的失败。工程师在岩土工程中比其他学科应更多地使用判断,而正确采用这些方法,就会增长判断的能力。”

我们在翻译过程中也深深感到原书的这两个特点在国内土力学教材中是不够突出的,而这些却值得国内借鉴。因此,我们认为这是一本较好的大学教学用书,是土建、水利、水电界土力学方面一本较好的参考书。

此外,作者仅用第七、八两章,由浅入深地介绍土的弹塑性剑桥模型及极限平衡分析,确是很可贵的。这两章的材料适宜于这两个理论在岩土工程界的普及和推广,所以也可作为有关专业研究生的部份教材。

但是我们也发现这本书的个别部分,如沉降计算过于简略,特别是超固结土沉降计算的说明还有不完善之处,为此,我们作了简单的译注。

我们教研室分工翻译了原书1980年第三版,参加翻译的同志

有：方涤华（第一、十五章）；钱家欢（第二、四、五、十二章）；费余绮（第三章）；姜朴（第六、七章）；徐志英（第八章）；郭志平（第九、十、十四章）；周萍（第十一章）；俞仲泉（第十三章）。并由钱家欢教授统校定稿。

读者如发现译本中有不妥之处，请函告出版社或直接告知华东水利学院土力学教研室，至为感谢。

译 者

1981.10南京

目 录

译者序	
符号表	1
第一章 土的分析 and 分类	6
第二章 粘土矿物	32
第三章 孔隙压力、有效应力和吸力	47
第四章 渗透性和渗流	59
第五章 土的固结模型	86
第六章 土的抗剪强度模型	109
第七章 普遍的土模型	129
第八章 塑性、极限分析与极限平衡	163
第九章 侧向土压力	194
第十章 土坡稳定	229
第十一章 地基承载力	263
第十二章 地基沉降	286
第十三章 桩基	314
第十四章 土工处理方法	328
第十五章 土的现场调查和原位试验	347

符 号 表

课文中所用的符号尽可能与1961年英国规范 BS1991第四部分推荐的相一致。另一些符号一般按习惯选用。读者要注意,按照 BS1991,全书把容重 γ 定义为重量密度或单位重(即单位体积的重力,以 kN/m^3 度量)。较重要的一些符号含义如下:

- A —— 气隙比, 面积, 孔隙压力系数
- A_r —— 剪破时的孔隙压力系数
- a —— 面积
- B —— 宽度, 孔隙压力系数
- b —— 宽度
- C_c —— 压缩指数, 曲率系数
- C_e —— 膨胀指数, 土骨架的压缩性
- C_u —— 不均匀系数
- C_v —— 孔隙流体的压缩性
- c —— 表观凝聚力(以总应力表示)
- c' —— 表观凝聚力(以有效应力表示)
- c'_e —— 伏斯列夫有效凝聚力
- c'_r —— 残余表观凝聚力(以有效应力表示)
- c_u —— 在不排水条件下的表观凝聚力(以总应力表示)
- c_v —— 固结系数
- c_e —— 膨胀系数
- c_w —— 土与挡土墙之间的附着力
- D —— 深度, 直径
- D_f —— 深度因素
- D_{10} —— 有效粒径
- d —— 深度, 直径, 排水途径长度
- E —— 杨氏模量
- e —— 孔隙比

e_c —— 临界孔隙比
 F —— 安全因数
 F_c —— 对凝聚力的安全因数
 F_ϕ —— 对摩擦力的安全因数
 f —— 塑性势函数
 G_s —— 土粒比重
 H —— 高度
 H_c —— 无支撑直壁的临界高度
 h —— 高度, 总水头
 I_σ —— 基础下应力感应系数
 I_ρ —— 基础沉降感应系数
 i —— 水力坡降
 i_c —— 不稳定向上水流的临界水力坡降
 K —— 土的侧压力系数
 K_a —— 朗肯主动土压力系数
 K_{ac}, K_{aq}, K_{ay} —— 广义主动土压力系数
 K_p —— 朗肯被动土压力系数
 K_{pc}, K_{pq}, K_{py} —— 广义被动土压力系数
 K_0 —— 静止土压力系数
 k —— 渗透系数
 L —— 长度
 LI —— 液性指数
 LL —— 液限
 l —— 长度
 m_v —— 体积压缩系数
 N —— 泰勒土坡稳定数
 N_c, N_q, N_γ —— 承载力因数
 n —— 孔隙率
 P —— 力
 P_a —— 挡土墙上的主动土推力
 P_p —— 土对挡土墙移动的被动阻力
 PI —— 塑性指数
 PL —— 塑限

p —— 压力, 平均法向应力 $\left(= \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right)^*$

p' —— 平均有效应力 $\left(= \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3}{3} \right)^*$

p_a —— 主动土压力

p'_c —— 前期固结压力 (球面固结)

p'_e —— 等效固结压力 (球面固结)

pF —— 土中水吸力

p'_i —— p' 的初始值

p_p —— 被动土压力

q —— 流量, 偏应力 $\left(= \frac{3}{\sqrt{2}} \tau_{oct} \right)$

q_a —— 基础许可承载力

q_f —— 基础毛极限承载力

q_n —— 基础净压力

q_o —— 地面超载

RD —— 相对密度

R_p —— 超固结比 (球面固结)

R_e —— 超固结比 (单向固结)

r —— 半径

r_u —— 孔隙压力比

S_r —— 饱和度

SL —— 缩限

T —— 扭矩, 时间因数, 表面张力

T_e —— 时间因数 (单向固结)

t —— 时间

U_e —— 固结度 (单向固结)

$\bar{U}$ —— 平均固结度

u —— 孔隙压力

u_a —— 孔隙气压力

u_w —— 孔隙水压力

* 原文遗漏 1/3 —— 译者注。

V ——体积
 V_s ——固体体积
 V_e ——孔隙体积
 v ——速度, 比容 ($= 1 + e$)
 W ——重量
 w ——含水量
 w_{sat} ——饱和含水量
 X ——(负) x 方向的体力
 Z ——(负) z 方向的体力
 β ——坡角, x 轴与水平线的倾斜角, 剪胀角
 Γ —— $p' = 1.0$ 时临界状态的比容
 δ ——墙摩擦角
 γ ——容重 (重量密度), 剪应变
 γ' ——浮容重 (重量密度)
 $\dot{\gamma}$ ——剪应变率 (对于时间)
 γ^p ——塑性剪应变
 γ_d ——干容重 (重量密度)
 γ_f ——流体容重
 γ_p ——土粒容重
 γ_{sat} ——饱和容重 (重量密度)
 γ_w ——水的容重 (重量密度)
 ε ——正交应变
 ε^p ——正交应变塑性分量
 $\dot{\varepsilon}$ ——正交应变率 (对于时间)
 η ——动力粘滞系数, 桩群效率
 k ——在 $v: \log. p'$ 平面上超固结线的坡度
 λ ——在 $v: \log. p'$ 平面上正常 (球面) 固结线的坡度
 M ——在等比容平面上临界状态线的坡度
 M_0 ——在等比容平面上状态边界面的坡度
 μ ——摩擦系数
 N —— $p' = 1.0$ 时正常 (球面) 固结的比容
 ν ——泊松比
 ρ ——地面沉降

σ —— 总正交应力
 σ' —— 有效正交应力
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ —— 主应力分量
 σ_a, σ_r —— 三轴压缩试验中轴向和径向应力分量
 σ'_c —— 前期固结压力
 σ'_e —— 等效固结压力
 σ'_i —— 初始固结压力
 $\left. \begin{array}{l} \sigma'_c \\ \sigma'_e \\ \sigma'_i \end{array} \right\} \text{ (单向固结)}$
 σ_n —— 滑动面上的正交应力分量
 σ_{oct} —— 八面体正交应力
 σ_v —— 正交应力的竖向分量
 τ —— 剪应力分量
 τ_f —— 抗剪强度
 τ_{max} —— 最大抗剪强度
 τ_{oct} —— 八面体剪应力
 Φ —— 势函数
 ϕ —— 剪阻角 (以总应力表示)
 ϕ' —— 剪阻角 (以有效应力表示)
 ϕ'_{ee} —— 在等体积条件下的剪阻角 (以有效应力表示)
 ϕ'_e —— 伏斯列夫有效内摩擦角
 ϕ_u —— 在不排水条件下的剪阻角 (以总应力表示)
 ϕ'_r —— 径向剪阻角 (以有效应力表示)
 ϕ_μ —— 粒间接触摩擦角
 χ —— 确定非饱和土内有效应力的系数
 ψ —— 流函数

第一章 土的分析 and 分类

土 和 土 的 形 成

1-1 工程土 地球的大部分陆地表面和 部分 海底，覆盖着主要由岩石崩裂和分解而成的散粒沉积层。这种沉积物不论是完全未胶结的，还是稍具胶结而仍不失其基本散粒性的，或者胶结料已被开挖破碎的，都称为土。在一般工程意义上，土与岩石的区别就在于这种散粒性。

1-2 土的形成 土的形成过程是复杂的，但在这里仅须考虑那些直接影响形成土的工程性质的过程。大多数土是岩石经风化过程碎裂而成的，风化过程可分为物理的或化学的。物理风化是由温度应力或冰的形成等引起的物理力使母岩碎裂的过程。岩体的冷却，或地表附近日常的气温变化所产生的温度应力导致岩体开裂。如果有水渗入这些裂隙，然后冻结，那么由此而引起的膨胀将使裂隙进一步张开，直至岩块最后从岩体碎裂。通过同样的过程，这些岩块又可碎裂成越来越小的岩屑。在干旱地区，大风携带的砂粒撞击也可使岩面迅速剥蚀。

物理风化的产物，其晶体构造不发生改变，并显然是与母岩相同的。另一方面，化学风化的产物是岩石矿物与水或氧，或溶解于土中水的碱类、酸类起化学反应的结果。空气中的二氧化碳和表土中的有机质都是这种溶解酸的通常来源。

粘土矿物是一组复合的结晶材料，它们主要由硅酸铝组成，但也含有其他物质。虽有证据表明：粘土矿物有时是由水热作用（即由地下热和水的联合作用）形成的，但它们主要是化学风化的产物。粘土矿物的晶体构造主要视它们形成时的气候条件而定，不一定反映母岩的晶体构造。

物理风化和化学风化过程往往是同时进行的，因此，大多数

天然土兼含原生（岩石）矿物和粘土矿物，尽管后者的比例可能很小。风化后的土料可被带入江河，并沿着河道沉积，或沉积在湖、海里。流水所能携带颗粒的大小，主要取决于水流流速，因此，不同大小的颗粒可随河流流速的改变而沉积在不同的地方。这就引起颗粒的某些分选，以致在任一沉积层中发现的颗粒大小可以某种尺寸占优势。在水流搬运过程中，颗粒有颇大磨损，而碎裂成较小的尺寸，其表面往往较光滑且多呈圆形。

冰川和流动冰层也可搬运土粒，但其效果与河道中流水搬运的颇不相同。一方面，巨大的漂面可从岩面拔起，带到很远的地方；在另一极端情况下，流动冰层底部挟带的石块通过与途中的岩石研磨将产生颗粒极细的石粉。冰融化时，所挟带的土就沉积下来，形成冰川堆石。沉积时留下来的这些沉积物含有颗粒分布范围广，且彼此均匀混合的土料。另一方面，土可被融水带入河道。

在渗水作用下引起的溶滤（特别是在炎热的气候条件下）可生成其后不受冲刷和搬运的深厚风化层。这种风化料叫做残积土。靠近地表，天然岩料的矿物类型可能几乎完全改变，但在较深处，矿物成分的改变越来越不充分。

土的成分及其特性

1-3 土的成分 任何一个土样都是由下列几种（或全部）成分所组成的。

（a）固相：

（I）原生岩石矿物；

（II）粘土矿物；

（III）粒间胶结物；

（IV）有机质。

（b）液相：

（I）水；

(II) 溶解盐类。

(c) 气相:

(I) 空气(有时还有其他气体);

(II) 水蒸汽。

以上这些土的组成部分,都在不同程度上影响着土的工程性质。

1-4 原生岩石矿物 原生岩石矿物是由母岩碎裂而成的岩屑。它们一般较粗,直径很少小于0.002mm(虽然有些冰积土可含有颗粒极细的石粉)。颗粒一般呈圆形或带棱角。

当这种颗粒组成土的主要矿物部分(如在砾和砂中)时,土的工程性质主要取决于级配(即粒径的变化)和填实程度。这两个因素在某种程度上是互相关联的,因为,如果颗粒都具有大致相同的尺寸,那么要把它们填得很实是不可能的。可是,如果粒径由大到小有良好的级配,就能使较小的颗粒充填较大颗粒之间的孔隙。这种填得很密的土料,由于颗粒之间的咬合作用,压缩性低,剪阻力高。颗粒的形状和纹理对土的工程性质亦有一些影响,但与矿物成分是无关的。

1-5 粘土矿物 粘土矿物主要是化学风化的产物。其颗粒极细,主要尺度很少超过0.002mm,通常还要细得多。它们一般呈片状(虽也可能为针状、管状或棒状),在某些情况下只有几个分子厚。因此,它们有很大的表面积。表面积以比表面(即材料单位质量的表面积)表示最方便。表1-1列出了几种粘土矿物的比表面典型值。

表 1-1 土粒的比表面典型值(单位: m^2/g)

粘土矿物	
高岭石	5~30 μ
伊利石	50~100 μ
蒙脱石	200~600 μ
纯砂	2×10^{-4}

1-6 粒间胶结物 在有些土中，土粒的表面上沉积着大量的胶结物（如方解石、氧化铁或硅石）。这种胶结物可来源于地下水从别处带来的溶解盐类；或为由溶滤而引起的土矿物分解的残留物。不论属哪一种情况，因矿物在颗粒之间形成一种胶结物，于是土的抗剪强度增加、压缩性减小。

1-7 有机质 土中的有机质来源于动、植物遗体。一般集中在土的顶层0.3~0.5m范围内，但在透水土中，溶滤可进一步把它带得很深，同时泥炭沉积物可出现在颇大的深度，只要正常的分解过程在那里因缺少空气而受到妨碍。

土中未腐烂的有机质在有空气存在的情况下易受细菌侵蚀。侵蚀的最终产物是一类非常复杂的有机化合物，它们统称为腐殖质。对工程建筑物而言，这些有机物都有极不良的性质。现概述如下：

（a）有机材料将吸收大量的水（高达其自重的五倍）。施加于有机材料上的压力增加将因水的排出而引起剧烈的体积变化。因而，在相当适中的荷载下3m厚的泥炭层可沉降0.5m。如果卸去荷载，也会有相当大的膨胀。排水降低地下水位也可引起土的体积减小和地面的普遍下沉。

（b）有机材料的抗剪强度很低，当土中含有大量有机材料时将对它的强度产生有害影响。

（c）腐殖质有很强的盐基交换能力（这种交换的重要性将在第二章中说明）。

（d）有机质的存在妨碍水泥的凝固。有机质含量高的土不能用水泥加固。

有机质的许可含量取决于它的性质和土的用途。酸性很高的条件下生成的腐殖质在妨碍水泥凝固方面常有最严重的影响。一般而言，有机质含量小于0.5%是不会影响水泥凝固的；含量达2~3%可严重的改变土的强度和压缩性。

1-8 水 土的含水量改变是其工程性质发生变化的最重要的起因。抗剪强度、压缩性和渗透性都直接或间接地与土的含水

量有关。

孔隙水和晶体边界上的电—化学力一起在决定粘土矿物的特殊性质上起着重大的作用。这些特殊性质的缘由和影响将在下一章详细研究。

必须记住水是与固体颗粒一样重要的土的组成部分。它虽不能承担剪应力，但能承担正交压力，这个压力往往是土所承受的应力的重要部分。施加于土上的总应力增加一般既引起粒间接触压力的改变，又引起孔隙流体压力的改变（除非土能自由排水）。当讨论土中应力时两者的影响都应加以考虑。

在非饱和土中孔隙内的水—气界面上存在着表面张力。孔隙气压力和孔隙水压力一般不是相等的。

1-9 溶解盐类 凡是土内有水渗过的地方，水就能输送溶解盐类。按工程观点，盐类中最重要的是硫酸盐，因为它们对混凝土有破坏性影响。在英国的粘土中，相当普遍地存在着硫酸钙，但它不过是一种中溶盐。硫酸钠和硫酸镁较少见，但由于它们有较大的可溶性，所以也就更有害。

土中水许可的硫酸盐离子浓度取决于将同它们接触的混凝土建筑物的性质。详细的建议在参考文献^[1-1]中提到。

1-10 空气 不是所有的土都是完全饱和的（即土粒之间的孔隙不是完全充满水的）。连重粘土都可能有高达1%或2%的含气孔隙。倘若土中空气的比例很小（不到孔隙的5%左右），空气多半是以极小的气泡形式在表面张力引起的高压力下束缚在固定位置上。这些气泡不容易排出或压缩，对土的压缩性影响较小。稍高的空气比例（达15%）将导致在低压力下形成较大的气穴，这些气穴对由外加荷载改变而引起的体积变化和孔隙压力变化将有重大影响。

若孔隙含有较高的空气比例，则在整个土体内空气多半是连通的，可比较容易排出。这种排气可以由土的压实（即迫使土粒重新排列成较小的体积）来完成。这能引起地面巨大的沉降。或者，空气可通过水流入孔隙而排出，这会使土的抗剪强度降低

(特别是在粘性土的情况下)。

1-11 水蒸汽 在非饱和土中, 孔隙内空气的相对湿度高。由于温差或其他原因, 蒸汽压力可处处不同。如果饱和度低, 以致气孔隙多半是连通的, 水可能以水蒸汽的形式发生大量转移。

指 标 试 验

1-12 粒径分析和阿太堡限度试验 鉴于各种土和各种土料的巨大差异, 工程师们早就认识到需要用简单方法来反映土的特征, 这样就有可能迅速地评价它们的工程性质。为此目的发展起来的试验叫做“指标试验”, 现叙述如下:

(a) 测定级配的粒径分析。这种试验可用来对粗粒土的工程性质作出估计。

(b) 阿太堡限度试验。这是一组经验试验, 根据这些试验的结果可以估计细粒土的工程性质。试验方法将在1-16节叙述。

1-13 土粒按粒径分类 土粒可根据它们的粒径进行分类。在现场勘察施行规范——1957年CP2001^[1-2]中采用的分类体系列于表1-2。

表 1-2 粒径分类(根据参考文献[1-2])

名 称	名 义 粒 径 (mm)
卵 石	大于60.0
粗 砾 {	60.0~20.0
中 砾 {	20.0~6.0
细 砾 {	6.0~2.0
粗 砂 {	2.0~0.6
中 砂 {	0.6~0.2
细 砂 {	0.2~0.06
粗 粉土 {	0.06~0.02
中 粉土 {	0.02~0.006
细 粉土 {	0.006~0.002
粘 土	小于0.002