

工业与民用建筑专科系列教材

土力学地基与基础

周汉荣 主编



武汉工业大学出版社

武
汉
工
业
大

社

社

TU4
乙81

356751

工业与民用建筑专科系列教材

土力学地基与基础

周汉荣 主编

武汉工业大学出版社

内 容 提 要

本书系根据高等工业院校“工业与民用建筑专业”三年制专科《土力学地基与基础》课程要求编写的试用教材，按我国新修订的《地基基础设计规范》(GBJ7—88)编写，系该专业系列教材之九。全书主要内容包括：土的物理性质及工程分类；土的应力、变形和强度；挡土墙；浅基础；桩基础；地基处理和特殊土地基等。

本书除供“工业与民用建筑专业”专科作教材，还可作为土建类作“工民建专业”本科教材，以及土建工程技术人员在学习和使用新规范时的参考书。

DV20/2522

工业与民用建筑专业系列教材
土力学地基与基础
周汉荣 主编

*

武汉工业大学出版社出版发行
新华书店湖北发行所经销
武汉市红旗印刷厂印刷

*

开本787×1092(胶印) 印张: 15.51 字数: 360000

1988年8月第一版 1992年4月第6次印刷

印数: 53001 — 59000

ISBN 7-5629-0112-0/TU·0013

定价: 4.50元

“工业与民用建筑”专科系列教材

出版说明

本系列教材的出版，是为了适应四化建设多层次培养人才，以及当前“工业与民用建筑”专业大专教材建设上的迫切需要而组织的。考虑到国家还无统一的专业（大专）教学计划和课程教学大纲，故本系列教材编写前曾征集部分院校意见并进行归纳整理，制定了系列教材“编写总纲”，其主要编写要求是：

贯彻“少而精”的原则，加强基本理论、基本技能和基本知识的训练。各本教材字数按教学时数控制在每学时4000字左右。编写时要做到内容精练，叙理清楚，体系完整，特色鲜明。文字力求通俗流畅，插图力求形神兼备。对涉及到国家标准和规范的内容，均以现行国标（部标）和规范为准。对即将颁行的新规范，则以新规范的报批稿（或送审稿）为准。对教材中符号、计量单位和术语，则尽量采用《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》GBJ83—85的规定。

本系列教材的编写人员主要是武汉工业大学、湖南大学、华中理工大学、武汉冶金建筑专科学校和湖南城市建设专科学校等有丰富教学经验的教师。主审人员为全国部分高等院校和科研院的教授和专家。

本系列教材的出版在我国还是初次，且由于组稿仓促，缺点和不当之处一定很多，希读者指正，不胜感谢。

“工业与民用建筑”专业专科系列教材编审委员会

编 审 委 员 会

顾 问：袁润章 成文山 王龙甫

主 任：沈大荣

副主任：沈蒲生

委 员：（以姓氏笔划序）

刘声扬 刘鉴屏 吴代华 沙钟瑞 胡 逾

施楚贤 高琼英 彭图让 蔡伯钧 魏 璋

秘书长：（总责任编辑）刘声扬

“工业与民用建筑”专业大专系列教材书目

- | | | |
|----------|-----------------|----------------|
| 1、建筑材料 | 5、结构力学 | 9、土力学地基与基础 |
| 2、建筑工程测量 | 6、钢结构 | 10、建筑施工 |
| 3、理论力学 | 7、钢筋混凝土结构(上)(下) | 11、建筑工程经济与企业管理 |
| 4、材料力学 | 8、砌体结构 | |

前 言

本书系根据高等工业院校“工业与民用建筑专业”三年制专科《土力学地基与基础》课程要求编写而成。

“土力学地基与基础”课程具有较强的理论性和实践性，涉及的范围很广，包括土的物理、力学性质的主要概念、基本原理和实验方法；地基基础的设计、处理与施工等等。

本学科发展速度快，地区性又强。因此，在编写时注重理论联系实际，在保证系统性的前提下，突出重点，并适当地吸收了国内外较成熟的新内容。

我国土地辽阔，各校所处的地区不同要求也有差别，因此，对书中第八、九章中的内容可酌情取舍。

本书采用法定的国际单位制。为了便于与原有的教材、书刊所用的符号相对照，书前汇集主要符号及单位，以供参考。

参加本教材的编写人员为：

湖南大学周汉荣（绪论、第一、二、三、六、九章）、肖鹤松（第四章），武汉冶金建筑专科学校万光宇（第五章），武汉工业大学刘胜男（第七、八章），第一、二、三、六章中的例题及习题由湖南大学曹喜仁编写。本书由周汉荣主编，湖南大学周光龙教授主审。

由于编者水平所限，不妥之处在所难免，希读者批评指正。

编者

1988年2月

主要符号及单位

A ——基础底面面积 (m^2)	M_s ——作用于基础底面的力矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
a ——压缩系数 (MPa^{-1} 或 m^2/MN)	m ——质量 (kg 、 t)
b ——基础底面宽度 (m)	N_{10} ——轻便触探试验锤击数
C_s ——不均匀系数	$N_{63.5}$ ——标准贯入试验锤击数
c ——粘聚力 (kPa 或 kN/m^2)	n ——孔隙率 (%)
c_v ——竖向固结系数 (m^2/yr)	p ——基底平均压力 (kPa 或 kN/m^2)
d ——土粒粒径 (mm)，直径；基础埋置深度 (m)	p_0 ——基底附加压力 (kPa 或 kN/m^2)
d_{10} ——土的有效粒径 (mm)	p_c ——地基比例界限荷载 (kPa 或 kN/m^2)
d_{60} ——土的限定粒径 (mm)	p_u ——地基极限荷载 (kPa 或 kN/m^2)
E_a ——主动土压力 (kN/m)，	$p_{c,2}$ ——地基临塑荷载 (kPa 或 kN/m^2)
E_0 ——静止土压力 (kN/m)	q_p ——桩端土的承载力 (kPa 或 kN/m^2)
变形模量 (MPa)	q_s ——桩周土的摩擦力 (kPa 或 kN/m^2)
E_p ——被动土压力 (kN/m)	R ——单桩竖向承载力设计值 (kN)
E_s ——压缩模量 (MPa)	r ——半径 (m)
e ——孔隙比	S_r ——饱和度
F ——作用在基础顶面上的力 (kN 、 kN/m)	S ——沉降量 (mm)
f ——地基承载力设计值 (kPa 或 kN/m^2)	T_v ——时间因数
f_k ——地基承载力标准值 (kPa 或 kN/m^2)	U ——固结度
f_0 ——地基承载力基本值 (kPa 或 kN/m^2)	u ——孔隙水压力 (kPa 或 kN/m^2)
G ——基础及其台阶上土的永久荷载 (kN 、 kN/m)	V ——体积 (m^3)；剪力 (kN)
h ——高度 (m)	v ——渗透速度 (mm/s)
I_L ——液性指数	W ——截面抗抵矩 (m^3)
I_P ——塑性指数	w ——含水量 (%)
K_0 ——主动土压力系数	w_L ——液限 (%)
K_0 ——土的侧压力系数或静止土压力系数	w_p ——塑限 (%)
K_P ——被动土压力系数	z_0 ——标准冻结深度 (m)
l ——长度 (m)	z_n ——地基沉降计算深度 (m)
	z ——深度 (m)
	α ——土中应力系数

β ——填土表面倾角(°)
 γ ——土的重度(kN/m³)
 γ_d ——干土重度(kN/m³)
 γ_{sat} ——饱和土重度(kN/m³)
 γ_w ——水的重度(kN/m³)
 γ' ——土的浮重度或有效重度(kN/m³)
 δ ——土对挡土墙背的摩擦角(°)
 δ_s ——黄土地基湿陷系数
 δ_{sp} ——土的膨胀率(%)
 η_b ——基础宽度的承载力修正系数
 η_d ——基础埋深的承载力修正系数
 θ ——地基的压力扩散角(°)
 μ ——泊松比
 ρ ——土的密度(t/m³)

ρ_d ——干土密度(t/m³)
 ρ_{sat} ——饱和土密度(t/m³)
 ρ_w ——水的密度(t/m³)
 σ ——正应力(kPa或kN/m²)
 σ_1, σ_3 ——大、小主应力(kPa或kN/m²)
 σ_{zs} ——自重应力(kPa或kN/m²)
 σ_s ——土中附加应力(kPa或kN/m²)
 σ' ——有效应力(kPa或kN/m²)
 τ ——剪应力(kPa或kN/m²)
 τ_f ——抗剪强度(kPa或kN/m²)
 ϕ ——土的内摩擦角(°)
 ψ_s ——沉降计算经验系数
 ψ_t ——采暖对冻深的影响系数

目 录

主要符号及单位	(I)
绪论	(1)
第一章 土的物理性质及工程分类	(5)
第一节 土的组成	(5)
第二节 土的三相比例指标	(12)
第三节 无粘性土的密实度	(16)
第四节 粘性土的塑性指数和液性指数	(17)
第五节 地基土的工程分类	(18)
习 题	(22)
第二章 土中应力计算	(23)
第一节 土中自重应力	(23)
第二节 基底压力分布与简化计算	(25)
第三节 土中附加应力	(27)
习 题	(47)
第三章 地基变形计算	(48)
第一节 土的压缩性及压缩性指标	(48)
第二节 地基的最终沉降量	(53)
第三节 地基变形与时间的关系	(62)
第四节 建筑物的地基变形容许值	(70)
习 题	(71)
第四章 土的抗剪强度和地基承载力	(74)
第一节 土的抗剪强度	(74)
第二节 土的极限平衡理论	(77)
第三节 抗剪强度的三轴剪切试验和无侧限抗压强度试验	(79)
第四节 塑性区的发展及相应的荷载	(80)
第五节 地基的极限承载力	(86)
习 题	(90)
第五章 土压力和土坡稳定	(91)
第一节 概述	(91)
第二节 挡土墙上的土压力	(92)
第三节 朗金土压力理论	(93)
第四节 库仑土压力理论	(97)
第五节 《规范》方法	(109)
第六节 特殊情况下的土压力计算	(102)
第七节 挡土墙设计	(112)
第八节 土坡稳定分析	(117)
习 题	(121)
第六章 天然地基上浅基础	(123)

第一节	概述	(123)
第二节	基础的类型	(123)
第三节	基础埋置深度的选择	(128)
第四节	地基与基础的设计原则	(132)
第五节	地基承载力的确定	(134)
第六节	浅基础的设计与计算	(145)
第七节	地基梁和板的计算	(151)
第八节	减轻不均匀沉降的措施	(160)
第九节	天然地基上浅基础的施工	(165)
	习 题	(168)
第七章	桩基础及其他深基础简介	(169)
第一节	概述	(169)
第二节	桩的类型	(170)
第三节	竖向荷载作用下单桩的工作状态	(173)
第四节	单桩竖向承载力的确定方法	(175)
第五节	群桩承载力的验算	(180)
第六节	单桩水平承载力	(182)
第七节	桩基础设计	(187)
第八节	其他深基础简介	(198)
	习 题	(201)
第八章	软弱地基处理	(202)
第一节	概述	(202)
第二节	换土垫层	(205)
第三节	夯实与碾压	(208)
第四节	深层挤密	(210)
第五节	排水固结	(212)
第六节	化学加固	(215)
第七节	土工合成材料在工程中的应用	(216)
	习 题	(218)
第九章	特殊土地基及山区地基	(219)
第一节	膨胀土地基	(219)
第二节	红粘土地基	(224)
第三节	湿陷性黄土地基	(225)
第四节	山区地基	(233)
	习 题	(238)
附录一	地质年代表	(239)

绪 论

一、土力学、地基与基础的概念

任何建筑物都是支承在地层上的，受建筑物荷载影响的那一部分地层称为地基。建筑物的下部通常要加以扩大，以减小单位面积上的应力，并埋入地下一定深度，使之座落在较好的地层上。建筑物下部的扩大部分称为基础（图0-1）。

地球表面的大块岩石经风化、搬运、沉积而成的松散堆积物，在建筑工程中称为土。在土的固体颗粒之间存在着许多孔隙，孔隙中常有水及气体。土与一般建筑材料（如钢材、混凝土）不同，除强度较低及质地不均匀外，其主要特征是：（1）土是由固体土颗粒、水及气体所组成，三者的成分及比例均对土的性质产生影响。（2）土具有孔隙，而且部分孔隙连通，所以一般土具有透水性。（3）土颗粒间联结很弱或无联结，在荷载作用下土颗粒会发生相对位移，土中水从孔隙排出而使孔隙减小，所以土的变形

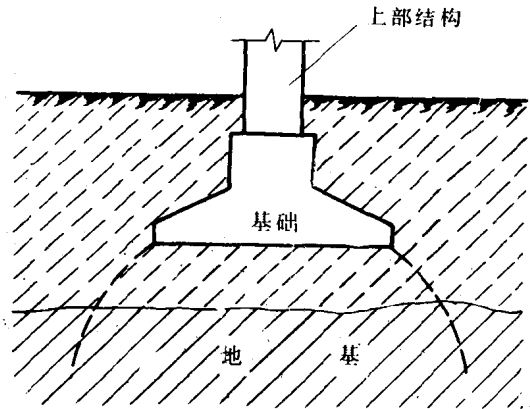


图0-1 地基与基础示意图

较大。（4）由于土中水从孔隙中排出并非加荷瞬间即可完成，所以土的变形需经一定时间方可完成。（5）土的变形除弹性变形外还会产生部分不可恢复的残余变形等等。

利用力学的一般原理，研究土的应力、应变、强度、稳定和渗透等特性及其随时间变化规律的学科称为土力学，它是力学的一个分支。

由于土的形成年代、生成环境及成分的不同，所以地基的性质是复杂而多样的。因此，设计前必须对场地进行工程地质勘察，并对土进行物理、力学性质试验，以作出工程地质评价。然后根据上部结构荷载、房屋使用及构造上的要求，对地基进行变形、强度及稳定性分析。要求作用在地基上的压应力不超过地基的承载力，地基的计算变形量不超过地基变形的容许值。而且，对经常受水平荷载作用的高层建筑和高耸结构，以及建造在斜坡上的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性。

基础根据埋置深度分为浅基础和深基础。对一般房屋的基础，如果土质较好，埋深通常不大（3~5m以内），可用简便方法进行基坑开挖或排水，这种基础称为浅基础。如果建筑物荷载较大且上层土质又较弱时，须将基础埋于较深的地层上，这时可能要采用特殊的基础类型或特殊的施工方法，这种基础称为深基础。例如桩基、沉井、地下连续墙等。

如果基础下的地基土未经人工处理，称为天然地基。相反则称为人工地基。

地基与基础设计时，要综合考虑地基、基础和上部结构三者的相互关系。例如，对软弱地基，除了考虑采用人工处理外，还要适当加强上部结构的刚度和强度，以调整 and 适应地基不均匀沉降；或采用桩基、沉井等深基础方案，将建筑物的荷载传到下面较好的地层上。由此可见，同一建筑物满足设计要求的地基基础方案往往不止一个，故需通过经济和技术上的分析比较，选择一个安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的方案。

二、地基与基础在建筑工程中的重要性

地基与基础是整个建筑工程中的一个重要组成部分。它的质量好坏关系到建筑物的安全、经济和正常使用。由于基础工程在地下或水下进行，施工难度较大，造价、工期和劳动消耗量在整个工程中所占的比重亦较大。我国一般多层建筑中，基础工程造价约占总造价的1/4，工期约占总工期的25~30%。如需人工处理或采用深基础，则其造价和工期所占的比例更大。另外，由于地基基础属于隐蔽工程，一旦出现事故，处理不易，因而更应慎重。随着高层建筑的兴起，深基础工程增多，这些都对地基基础的设计与施工提出了更高的要求。

我国与世界各国在地基基础设计与施工方面均取得了不少成功的经验，节约了大量资金，保证了工程质量。但是，并不是每一项基础工程都获得成功，许多建筑工程质量事故往往与地基基础有关。例如，加拿大特朗斯康谷仓，由于未勘察到基础下有厚达16m的软粘土层，建成后初次贮存谷物时，基底压力超过了地基极限承载力，致使谷仓一侧陷入土中8.8m，另一侧抬高1.5m，倾斜27°（图0-2）。由于该谷仓系采用片筏基础，基础和上部结构刚度均很强，所以筒仓完好无损。后经过在筒仓下增设70个支承于基岩上的混凝土墩，采用388个500kN的千斤顶和支撑系统，才将仓体纠正，但其标高比原来降低了4m。

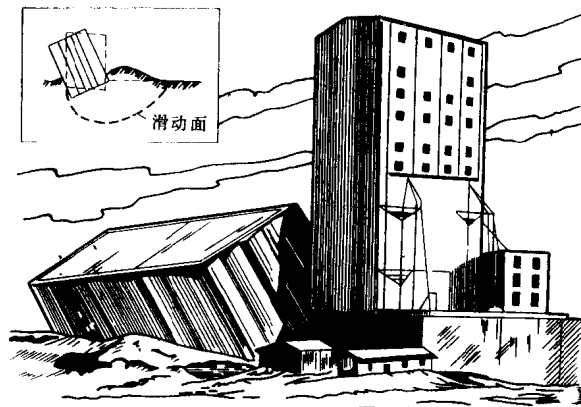


图0-2 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

又如意大利比萨斜塔，从1173年动工兴建，当建造至24m高时发现倾斜，限于当时技术水平，找不出原因而被迫停工，一百年后续建至塔顶（高约55m）。至今塔身向北沉降了1m多，向南沉降了约3m，倾斜5.8°。1932年曾于塔基灌注了1000t水泥，也未奏效。近年来该塔每年下沉约1mm，已成为世界上最著名的基础工程难题。

我国上海工业展览馆建于1954年。中央大厅上部为框架结构，总重约10000t，基础高7.27m，为两层箱形基础，平面尺寸为44×45m。大厅两侧系条形基础，用沉降缝隔开。地基为厚约14m的淤泥质软粘土。建成后，当年基础下沉0.6m，目前大厅平均沉降量达1.6m。墙面因不均匀沉降而产生较大裂缝；进厅台阶也有错开现象。

从以上工程实例可见，基础工程实属百年大计，必须慎重对待。只有深入了解地基情况，掌握勘察资料，经过精心设计与施工，才能使基础工程做到既经济合理，又能保证质量。

三、本课程的特点与学习方法

本课程是一门理论性与实践性均较强的课程，前五章主要介绍土的物理、力学性质以及土压力与土坡稳定性分析，后几章介绍地基与基础设计、软弱地基处理及施工中的有关问题。全书内容广泛，各章都从不同角度阐述变形、强度和稳定问题，抓住这一线索，就能掌握重点与系统。

我国土地辽阔，幅员广大，由于自然地理环境不同，存在着各种性质不同的土类，如软弱土、湿陷性黄土、膨胀土和红粘土等。本课程将分别扼要地介绍这些土的工程性质及设计处理原则。

土是经长期复杂作用形成的天然产物，不象其他建筑材料那样有统一规格可供查阅。每一建筑场地都必须进行地基勘察、采取试样和进行土工试验，所以本书也扼要介绍土工试验有关知识。各校可根据试验课进一步讲授这方面内容。

本课程与建筑力学、建筑材料、建筑结构和工程地质有密切关系，与这些学科有关的内容，本书只引述其结论，要求理解其意义及应用条件，而不把注意力放在公式的推导上。

每一项地基与基础的工程设计，几乎找不到完全相同的实例，故需要运用本课程的基本原理，深入调查研究，针对不同情况进行具体分析。因此，在学习本课程时要注意理论联系实际，提高分析问题和解决问题的能力。

四、本学科的发展简况

土力学、地基与基础工程既是一门古老的工程技术，又是一门新兴的应用学科。

远在春秋战国开始兴建直至秦朝建成的万里长城以及隋朝修通的南北大运河，穿越各种地质条件，历经千百载而屹立至今。又如隋朝兴建的郑州超化寺在淤泥中使用木桩以及其他许多宏伟壮丽的古寺塔，都是由于奠基牢固方可经历多次强震、强风的考验而安然无恙。我国历来具有正确处理地基基础的经验，至今还采用的灰土垫层、水撼砂垫层和石灰桩等，都是我国自古已有的传统地基处理方法。

十八世纪欧洲兴起工业革命，随着城市建设的扩大，公路、水利、铁路的兴建，遇到许多与土有关的力学问题。这些问题的解决，使土力学的理论开始产生和发展。1773年，法国的库伦（Coulomb）根据试验创立著名的砂土抗剪强度公式，提出计算挡土墙土压力的滑楔理论。1869年，英国的朗金（Rankine）又从不同途径提出挡土墙土压力理论，这对后来土体强度理论的发展起了很大促进作用。1885年，法国的布辛奈斯克（Boussinesq）求得弹性半空间在竖向集中力作用下的应力和变形的理论解答。1922年，瑞典的费伦纽斯

(Fellenius)为解决铁路坍方提出土坡稳定分析法。这些古典的理论和方法，直至今天仍不失其价值。1925年，美国太沙基(Terzaghi)专著《土力学》的发表，土力学才作为一门独立学科。从1936~1987年，已召开了11届国际土力学与基础工程学术会议。世界各地和许多国家也召开了专业会议，交流和总结本学科的新成果。这些都对本学科的发展起到推动作用。

解放后，我国进行了大规模的土木工程建设，成功地处理了许多大型的基础工程。例如，武汉、南京长江大桥，葛州坝水利枢纽工程，上海宝山钢铁总厂以及全国许许多多高层建筑的建成，都为土力学理论和基础工程的实践积累了丰富经验。我国在1958年、1962年、1979年、1983年和1987年先后召开了五届土力学与基础工程学术会议，建立了许多地基基础专业的研究机构、施工队伍和土工试验室，培养了大量的地基基础专业人才。我国不少学者对土力学与基础工程理论的发展作出了宝贵的贡献。早在50年代陈宗基教授对土流变学和粘土结构模式的研究，已被电子显微镜的观测所证实；黄文熙教授1957年提出非均质地基考虑土侧向变形沉降计算方法和砂土液化理论，均受到国际岩土工程界的重视。

随着电子计算机及有限元计算技术的日益推广，土力学与基础工程领域的研究发生了深刻变化，目前有可能利用这些计算技术解决许多复杂的岩土工程问题。在土工试验、土力学与基础工程计算中已开始采用概率和数理统计理论，有些学者还提出应用概率方法的土力学计算理论。

近年来，我国在室内及现场的土工试验、地基处理技术；新设备、新工艺、新材料的研究及应用方面都取得了很大的进展。例如，振动碾压法、振冲法、深层搅拌法、高压旋喷法、真空预压法及强夯法等等，均取得较好的经济技术效果。在桩基应用方面，除采用钢筋混凝土预制桩外，目前又广泛采用灌注桩。对灌注桩的结构类型、机械设备及施工工艺也在不断改进，开发了沉管灌注桩、扩底桩、爆扩桩、树根桩和挖孔桩等。这些新技术的应用对土力学与基础工程的理论及实践均产生很大影响。随着我国社会主义建设事业的向前推进，土力学与基础工程学科必将得到更迅速的发展。

第一章 土的物理性质及工程分类

土是由固体土颗粒（又称固相）、水（液相）和气体（气相）所组成，故称为三相系。土中颗粒的大小、成分及三相之间的比例关系，反映出土的不同性质，如干湿、轻重、松紧及软硬等。土的这些物理性质与力学性质之间有着密切的联系。如土松而湿则强度低而压缩性大；反之，则强度高而压缩性小。故土的物理性质是土的最基本性质。

本章将分别阐明土的组成、土的基本物理性质指标及其有关特征，并利用这些指标及特征对地基土进行工程分类。

第一节 土的组成

一、土的固体颗粒

岩石经风化作用形成大小不同的固体土颗粒，它的矿物成分、颗粒大小、形状与级配是影响土的物理性质的重要因素。

（一）土的矿物成分

岩石由于温度变化和裂隙水的冻结以及盐类的结晶而逐渐破碎崩解，这种过程称为物理风化作用。岩石经物理风化作用形成粗粒的碎屑物，它的矿物成分与母岩相同。这种矿物颗粒称为原生矿物，常见的有石英、长石和云母等，它们的性质较稳定。较粗的砾石和砂主要是由原生矿物所组成。

岩石在水溶液、大气以及有机物的化学作用或生物化学作用下引起的破坏过程称为化学风化作用。它不仅破坏了岩石的结构，而且使其化学成分改变形成新的矿物。这种矿物称为次生矿物，如粘土矿物、铝铁的氧化物及氢氧化合物等。常见的粘土矿物有蒙脱土、伊里土和高岭土等。由于粘土矿物颗粒很细，颗粒的比表面（单位体积或单位质量的颗粒总表面积）很大，所以颗粒表面具有很强的与水作用的能力。如土含粘土矿物愈多，则土的粘性、塑性及胀缩性也愈大。

（二）土的颗粒级配

土颗粒的大小与土的性质有着密切关系。例如，土颗粒由粗变细，土可由无粘性变为有粘性，而透水性随之减小。粒径大小在一定范围内的土粒，其矿物成分及性质都比较接近。因此，可将土中各种不同粒径的土粒，按适当范围，分为若干粒组。表1-1是常用的粒组划分方法，表中根据粒径大小把土粒分为六大组：即漂石（块石）颗粒、卵石（碎石）颗粒、圆砾（角砾）颗粒、砂粒、粉粒和粘粒。

土粒的粒组划分

表1-1

粒组名称		粒径范围(mm)	一般特征
漂石或块石颗粒		>200	透水性很大, 无粘性, 无毛细水
卵石或碎石颗粒		200~20	
圆砾或角砾颗粒	粗	20~10	透水性大, 无粘性, 毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	10~5	
	细	5~2	
砂粒	粗	2~0.5	易透水, 当混入云母等杂质时透水性减小, 而压缩性增加; 无粘性, 遇水不膨胀, 干燥时松散; 毛细水上升高度不大, 随粒径变小而增大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.1	
	极细	0.1~0.05	
粉粒	粗	0.05~0.01	透水性小, 湿时稍有粘性, 遇水膨胀小, 干时稍有收缩; 毛细水上升高度较大较快, 极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
粘粒		<0.005	透水性很小; 湿时有粘性、可塑性, 遇水膨胀大, 干时收缩显著; 毛细水上升高度大, 但速度较慢

注: 1. 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状(圆形或亚圆形); 块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。

2. 粘粒或称粘土粒; 粉粒或称粉土粒。

3. 粘粒的粒径上限也有采用0.002 mm的。

自然界中的土, 都是由大小不同的土粒组成的。土中各个粒组相对含量百分比称为土的颗粒级配。

土的颗粒级配可通过土的颗粒分析试验测定。其方法为: 将土样风干、分散之后, 取具有代表性的土样倒入一套依孔径大小排列的标准筛(例如孔径为200、20、2、0.25、0.075 mm的筛及底盘), 经振摇后, 分别称出留在各个筛及底盘上土的质量, 即可求得各个粒组的相对含量。小于0.075 mm的土颗粒难于筛分, 可用比重计法或移液管法测定其颗粒级配(详见有关土工试验操作规程)。

根据土的颗粒分析试验结果, 在半对数坐标纸上, 以纵坐标表示小于某粒径的土粒含量百分比, 横坐标表示粒径(因土颗粒的粒径相差千百倍, 故宜用对数比例尺), 从而绘出如图1-1所示的颗粒级配曲线。

如曲线平缓, 表示粒径相差悬殊, 土粒不均匀, 即级配良好(图1-1中a线)。反之, 如曲线很陡, 表示粒径均匀, 即级配不好(图1-1中b线)。在工程计算中常需作定量分析, 采用下列不均匀系数 C_u 表示颗粒的不均匀程度, 即

粒组含量百分比 表1-3

粒组(mm)	1*土样	2*土样
>10	6.0	
10~5	10.5	
5~2	18.5	
2~1	23.5	9.5
1~0.5	16.5	10.0
0.5~0.25	10.5	10.5
0.25~0.075	9.0	34.0
0.075~0.05	2.5	15.0
0.05~0.01	3.0	14.0
0.01~0.005		3.0
0.005~0.001		4.0
共 计	100%	100%

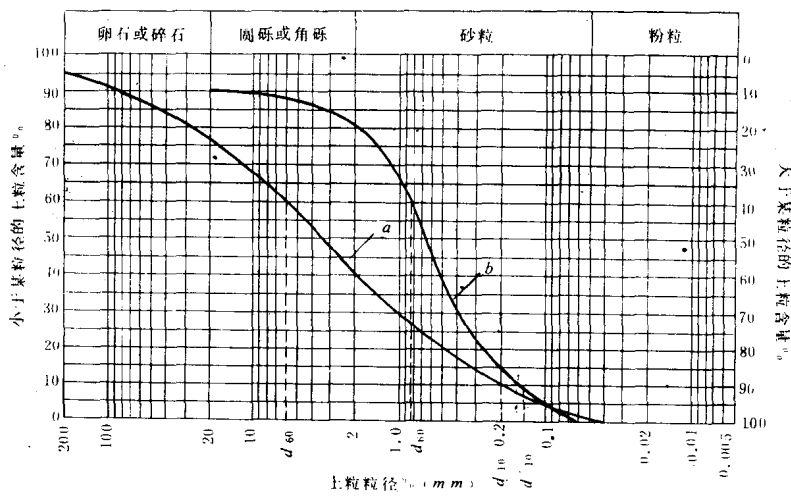


图1-1 颗粒级配曲线

颗粒级配试验结果 表1-2

粒 组	粒 组 质 量 (kg)	
	1*土样	2*土样
>10	0.12	
10~5	0.21	
5~2	0.37	
2~1	0.47	0.19
1~0.5	0.33	0.20
0.5~0.25	0.21	0.21
0.5~0.075	0.18	0.68
0.075~0.05	0.05	0.30
0.05~0.01	0.06	0.28
0.01~0.005		0.06
0.005~0.001		0.08
共 计	2kg	2kg

大于某粒径的土粒含量 表1-4

粒径(mm)	1*土样	2*土样
>10	6.0	
>5	16.5	
>2	35.0	
>1	58.5	9.5
>0.5	75.0	19.5
>0.25	85.5	30.0
>0.075	94.5	64.0
>0.05	97.0	79.0
>0.01	100	93.0
>0.005		96.0
>0.001		100.0

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

(1-1)

式中 d_{60} —小于某粒径土的质量占土总质量60%时的粒径，该粒径称为限定粒径；

d_{10} —小于某粒径土的质量占土总质量10%时的粒径，该粒径称为有效粒径。

不均匀系数 C_u 愈小，则颗粒级配曲线愈陡，土粒愈均匀。工程上把 $C_u < 5$ 的土称为均匀的， $C_u > 10$ 的土视为不均匀的，即级配良好的，这种土作为填方及砂垫层材料时，易于获得较大的密实度。

[例1-1] 有两土样，颗粒级配试验结果如表1-2所示，要求绘出这两个土样的颗粒级配曲线并算出

它们的不均匀系数。

解：(1) 首先计算粒组含量百分比和大于某粒径的土粒含量百分比，计算结果如表1-3和表1-4所示。

(2) 根据表1-4的数值，给出颗粒级配曲线如图1-2所示。

(3) 根据图1-2的颗粒级配曲线，分别求出土样的不均匀系数如下：

$$1^{\circ}\text{土样: } C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1.70}{0.15} = 11.33$$

$$2^{\circ}\text{土样: } C_u = \frac{d'_{60}}{d'_{10}} = \frac{0.17}{0.016} = 10.63$$

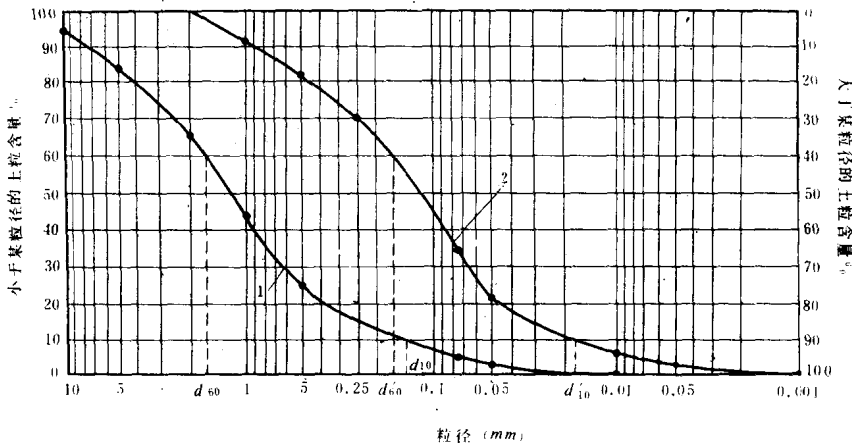


图1-2 例1-1颗粒级配曲线

二、土中水

土中水对细粒土的性质影响很大，使其产生粘性、塑性及胀缩性等一系列变化。究其原因，可从土中水的存在形态及其与土粒的相互作用进行分析。

土中液态水主要有结合水和自由水两类。

(一) 结合水

结合水是指土粒表面由电分子引力吸附的土中水。研究表明，细小土粒表面带负电荷，围绕土粒形成电场。在土粒电场范围内的水分子以及水溶液中的阳离子（如 Na^+ 、 Ca^{++} 等）一起被吸附在土粒周围。水分子是极性分子（图1-3a）、故受电场作用而定向排列，且愈靠近土粒表面吸附愈牢固。随着距离的增大，吸附力减弱，活动性增大，因此可分为强结合水和弱结合水（图1-3b）。

1. 强结合水

受土粒表面强大吸引力（可达几千个大气压力）作用吸附于土粒表面的结合水称强结合水，又称吸着水。它没有传递静水压力和溶解盐类的能力，不受重力作用，在温度达 105°C 以上时才能蒸发，冰点为 -78°C ，密度为 $1.2\sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，具有极大的粘滞性、弹性和抗剪强度，其力学性质接近固体。砂粒含的吸着水所占比例很小。粘性土仅含吸着水时呈固体状态，磨碎后则呈粉末状态。