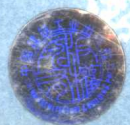


高等专科工业与民用建筑专业系列教材

土力学地基与基础

(第三版)

周汉荣 赵明华 主编



中国建筑工业出版社

高等专科工业与民用建筑专业系列教材

土力学地基与基础

(第三版)

周汉荣 赵明华 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书系根据高等专科“工业与民用建筑”专业（即房屋建筑工程专业）课程设置而编写的，为该专业系列教材之一。全书内容包括：土的物理性质及工程分类；土的应力、变形和强度；土压力与边坡稳定；工程地质勘察；浅基础；桩基础；地基处理；特殊土地基和山区地基等。内容符合我国颁布的《建筑地基基础设计规范》（GBJ 7—89）、《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—94）和其他岩土工程新规范的规定。

本书除供高等专科学校工业与民用建筑专业作教材外，还可供该专业函授、自学考试使用并供土建专业勘察、设计和施工人员参考。

高等专科工业与民用建筑专业系列教材

土力学地基与基础

（第三版）

周汉荣 赵明华 主编

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店总店科技发行所发行

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：16 $\frac{3}{4}$ 字数：405 千字

1997年6月第三版 1997年6月第一次印刷

印数：1—10000 册 定价：18.30 元

ISBN7-112-03003-X

TU·2295 (8118)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

前 言

《土力学地基与基础》教材第一版（1988年）及第二版（1993年）是由武汉工业大学出版社出版的。至1996年2月，已11次重印，总印数15.65万册。目前《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—94）及其他岩土工程新规范已陆续颁布施行，编者根据这些新规范的精神，以及“建筑工程专业”指导委员会会议精神，对教材进行了修订。

修订后，基本上保持了第一、二版的体系和风格，但内容作了调整和更新，以求适应本学科的发展水平，并满足高等专科“工业与民用建筑”（即房屋建筑工程）专业教学计划的要求。

根据建设部“建筑工程专业”指导委员会会议精神，本书增加了工程地质勘察一章。此章着重介绍工程地质勘察内容与方法，培养学生阅读和使用工程地质勘察报告的能力。

第七章触探部分内容并入第六章，并删去天然地基上浅基础施工部分内容，以节省篇幅。

第八章根据《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—94）进行了全面修订，融合按极限状态设计概念，突出桩、土和承台共同工作观点，相应地提高了概念的明确性、设计技术的先进性和体系的完整性。

第九章根据《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79—91）进行了局部修订和补充。

第十章增加了滑坡内容，使这一章内容更为实用。

各章均附有习题、习题答案和思考题，以便自学。

参加本书编写的人员为：

湖南大学周汉荣（绪论、第一、二、三、七章）、肖鹤松（第四章）、赵明华（第五、六章），武汉工业大学刘胜男和刘珍（第八、九章），深圳市海王集团何少敏（第十章），第一、二、三、七章中的习题由湖南大学曹喜仁编写。本书由周汉荣和赵明华主编，由湖南大学周光龙教授主审。

本书不妥之处，望读者批评指正。

目 录

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	11
第三节 无粘性土的密实度	15
第四节 粘性土的塑性指数和液性指数	16
第五节 地基岩、土的工程分类	19
思考题	22
习 题	22
第二章 土中应力计算	24
第一节 土中自重应力	24
第二节 基底压力分布与简化计算	25
第三节 土中附加应力	28
思考题	45
习 题	45
第三章 地基变形计算	47
第一节 土的压缩性及压缩性指标	47
第二节 地基的最终沉降量	52
第三节 地基变形与时间的关系	63
第四节 建筑物的地基变形容许值	70
思考题	71
习 题	71
第四章 土的抗剪强度和地基承载力	73
第一节 土的抗剪强度	73
第二节 土的极限平衡理论	75
第三节 抗剪强度的三轴压缩试验和无侧限抗压强度试验	78
第四节 塑性区发展及相应的荷载	80
第五节 地基的极限承载力	84
思考题	89
习 题	89
第五章 土压力与边坡稳定	90
第一节 概述	90
第二节 作用在挡土墙上的三种土压力	91
第三节 静止土压力	92
第四节 朗金土压力理论	93
第五节 库仑土压力理论	97
第六节 《地基规范》方法	103
第七节 特殊情况下的土压力计算	105

第八节	挡土墙的设计	108
第九节	加筋土挡土墙简介	113
第十节	边坡稳定	117
思考题	.....	122
习 题	.....	122
第六章	工程地质勘察	124
第一节	工程地质勘察的内容及基本要求	124
第二节	工程地质勘察方法	126
第三节	地下水	131
第四节	工程地质勘察报告	132
思考题	.....	135
第七章	天然地基上浅基础	136
第一节	概述	136
第二节	基础的类型	136
第三节	基础埋置深度的选择	142
第四节	地基与基础设计的基本规定	144
第五节	地基承载力的确定	145
第六节	浅基础的设计与计算	154
第七节	地基梁和板的计算	159
第八节	减轻不均匀沉降的措施	163
第九节	基坑和基槽的检验	168
思考题	.....	168
习 题	.....	169
第八章	桩基础及其他深基础简介	170
第一节	概述	170
第二节	桩的类型	170
第三节	单桩竖向极限承载力标准值	175
第四节	单桩竖向承载力设计值	184
第五节	单桩水平承载力	188
第六节	桩基础的设计	193
第七节	其他深基础简介	207
思考题	.....	210
习 题	.....	211
第九章	地基处理	212
第一节	概述	212
第二节	换填法	215
第三节	预压法	219
第四节	强夯法	221
第五节	深层挤密法	223
第六节	化学加固法	225
第七节	土工合成材料在工程中的应用	226
第八节	托换法	228

思考题	231
习 题	232
第十章 特殊土地基及山区地基	233
第一节 膨胀土地基	233
第二节 红粘土地基	241
第三节 湿陷性黄土地基	242
第四节 山区地基	248
思考题	255
习 题	255
附录 地质年代表	257

绪 论

一、土力学、地基与基础的概念

建筑物一般是建造在地层上的，支承建筑物荷载的那部分地层称为地基（图 0-1）。

地球表面的大块岩石经风化、搬运、沉积而形成的松散堆积物，在建筑工程中称为土。土是自然界的产物，它与其它建筑材料不同，除了强度较低及质地不均匀之外，其主要特征有：①土是由固体颗粒、水和气体所组成，三者的成分和比例均对土的性质产生影响；②土具有孔隙，而且部分孔隙相互连通，所以土一般具有透水性；③土颗粒之间粘结力很弱或无粘结，在荷载作用下，土颗粒发生相对位移，土中水从孔隙中排出而固结，故土的变形量较大；④由于土中水从孔隙中排出并非加荷后瞬间即可完成，所以土的变形须经历一定时间方可完成；⑤土的变形除了弹性变形之外，还会产生部分不可恢复的残余变形等。

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多样的。因此，设计之前必须对场地进行工程地质勘察，提出工程地质勘察报告。然后根据上部结构荷载、房屋使用及构造上的要求，对地基进行强度、变形及稳定性分析。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；对经常受水平荷载作用的高层建筑和高耸结构，以及建在斜坡上的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性。

如果地基未经人工处理，称为天然地基。如地基软弱，其承载力及变形不能满足设计要求时，则要对地基进行加固处理，这种地基称为人工地基。

建筑物的下部通常要埋入地下一定的深度，使之座落在较好的地层上。建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础。

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），可用简便的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软弱时，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。

地基与基础设计，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之外，还要适当加强上部结构的刚度和强度，或采用桩基、沉井等深基础方案。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，故须通过经济、技术比较，以便选择一个安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的方案。

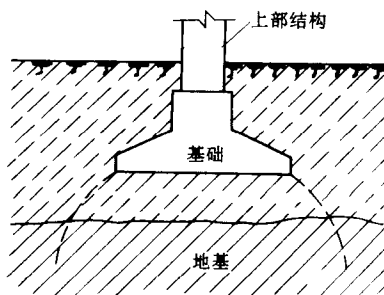


图 0-1 地基与基础示意图

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，建于1941年的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，用388个500kN的千斤顶，才将仓体纠正，但其标高比原来降低了4m。

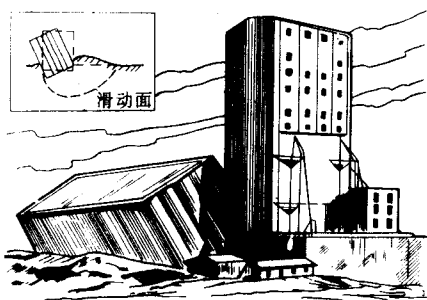


图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

又如意大利比萨斜塔，1173年动工兴建，当建至四层高时，发现塔身倾斜，限于当时技术水平，找不出原因而被迫停工。1272年后两次续建才建至塔顶，高八层55m。至今塔北侧沉降了约1m，南侧沉降了约3m，倾斜5.5°。1933年在塔基周围灌注了1000t水泥也未奏效。近年来该塔沉降愈益严重，已成为世界上著名的地基处理难题之一。

建于1954年的某展览馆，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44m×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。后经加固处理，才保证其安全和正常使用。

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学科。前五章主要介绍土的物理和力学性质，它是本课程的理论基础。后几章介绍工程地质勘察、地基基础设计与处理的有关问题。学习本课程时要自始至终抓住土的变形、强度与稳定这一线索，这样才可融会贯通，掌握本课程的重点与系统。

我国土地辽阔，由于自然地理环境不同，存在各种性质不同的土类。例如，沿海、沿河与沿湖地区的软土，西北、华北和东北地区的黄土以及分布在各地区的红粘土、膨胀土和杂填土等，都具有不同的性质，存在着区域性特点。本课程将扼要地介绍这些土的工程

性质和设计处理的原则。

经过漫长而复杂作用形成的土，不象其他建筑材料那样有统一规格可供查阅。为了获得土的物理、力学性质指标和地基承载力，须对建筑场地进行工程地质勘察、采样和进行土工试验，所以本书也扼要介绍土工试验的有关知识。各校可在试验课中充实这方面的内容。

本课程与数学、建筑力学、建筑材料、建筑结构和建筑施工等课程有密切的关系。与这些学科有关的内容，本课程只引述其结论，要求理解其意义及应用条件，而不把注意力放在相关课程公式的推导上。

每一项地基与基础工程设计，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、地基与基础工程技术是人类生产实践的结晶，既有悠久的历史，又是 70 多年来迅速发展起来的一门应用学科。

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，历经千百年而屹立至今。又如隋朝兴建的郑州超化寺以及其它许多宏伟壮丽的宫殿和寺院，遍布各地的巍巍高塔，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。

18 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，法国的库仑 (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的促进作用。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，至今仍不失其使用价值。1925 年，美国太沙基 (Terzaghi) 《土力学》专著的发表，从此土力学才作为一门独立的学科进行研究与发展。从 1936 年至今，已召开了 13 届国际土力学与基础工程学术会议。许多国家和地区也召开了专业会议，交流和总结本学科的新成果。这些都对本学科的发展起到了推动作用。

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，中国历史博物馆，利用电化学加固了旧护城河的河床，解决了施工期限短、质量要求高的问题。又如武汉和南京长江大桥、上海宝山钢铁总厂以及全国许许多多高层建筑的建成，都为土力学与基础工程的理论与实践积累了丰富的经验。我国在 1958、1962、1979、1983、1987 和 1991 年先后召开了 6 届土力学与基础工程学术会议，并且建立了许多地基基础研究机构、施工队伍和土工实验室，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的理论和实践，作出了重大的贡献。早在 50 年代，黄文熙教授提出了非均质地基的应力分布和考虑侧向变形的沉降计算方法，并发表了用振动三轴试验探讨饱和砂土地基和土坝的抗液化稳定的论文；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，这些均受到国际岩土工程界的重视。

近年来，我国在工程地质勘察、现场原位测试和室内土工试验、地基处理、新设备、新材料、新工艺的研究和应用方面，都取得了很大的进展。例如，振动辗压法、振冲法、深层搅拌法、高压旋喷法、真空预压法和强夯法等，均取得较好的经济技术效果。

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的变化，目前已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，有些学者提出应用概率方法的土力学计算理论。

进入 90 年代以来，随着我国社会主义建设事业的向前发展，多层及高层建筑象雨后春笋般在工程中出现，且有些建筑物座落在不良地基上，加之目前我国城市建筑密集，基础工程相互影响，施工条件受到各种限制，尤其是有些旧房需要加层改造，对原有房屋地基基础要进行加固处理，这些都对土力学与基础工程提出了新的挑战，也为土木工程的建设者提供施展才能和作出贡献的新机会。随着这些问题的解决，也必将促进土力学与基础工程技术向前发展。

思考题

1. 土与其它建筑材料相比具有哪些独特的性质？
2. 何谓土力学？何谓地基与基础？
3. 浅基础与深基础有什么区别？
4. 什么是天然地基？什么是人工地基？
5. 试述地基与基础在建筑工程中的重要性。

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、松散及软硬等。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

组成地层的物质多数以化合物的形式存在，由一种元素自然存在者居少数。这些化合物和元素称为矿物。矿物按其化学成分可分为硅酸盐、氧化物、氢氧化物、碳酸盐、硫化物和硫酸盐等类。根据矿物形成的先后，又可分为原生矿物和次生矿物。

1. 原生矿物

岩石由于温度变化、裂隙水的冻结以及盐类结晶而逐渐破碎崩解，这种过程称为物理风化。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，这种矿物称为原生矿物。常见的有石英、长石、云母等，它们的性质较稳定。砾石和砂主要是由原生矿物所组成。

2. 次生矿物

岩石在水溶液、大气及有机物的化学作用或生物化学作用引起的破坏过程称为化学风化。它不仅破坏了岩石的结构，而且使其化学成分改变并形成新的矿物，这种矿物称为次生矿物。如粘土矿物、铝铁氧化物及氢氧化合物等。常见的粘土矿物有蒙脱石、伊里石和高岭石等。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的总表面积）很大，所以颗粒表面具有很强的与水作用能力。土中含粘土矿物愈多，则土的粘性、塑性和胀缩性也愈大。

（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 卵石或碎石颗粒		>200 200~20	透水性很大, 无粘性, 无毛细水
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	0.1~0.075	
粉 粒	粗 细	0.075~0.01 0.01~0.005	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
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 0.002mm 的。

自然界的土, 都是由大小不同的土粒组成的。土中各个粒组质量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 20、2、0.5、0.25、0.075mm 的筛及底盘, 见图 1-1), 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 0.075mm 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 1-2 所示的颗粒级配曲线。

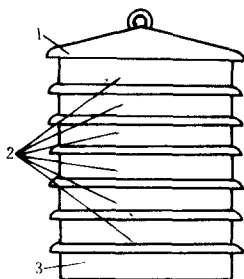


图 1-1 标准筛
1—筛盖; 2—筛盘;
3—底盘

如曲线平缓, 表示粒径相差悬殊, 土粒不均匀, 即级配良好 (图 1-2 中 a 线)。反之, 如曲线很陡, 表示粒径均匀, 即级配不好 (图 1-2 中 b 线)。在工程计算中常须作出定量分析, 采用不均匀系数 C_u 表示颗粒的不均匀程度, 即:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

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。

颗粒级配曲线愈陡, 则土粒愈均匀, 不均匀系数 C_u 也愈小。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，即其级配良好，这种土作为填方或垫层材料时，易于获得较大的密实度。

【例 1-1】 计算图 1-1 中曲线所表示的土样不均匀系数。

【解】 (1) 曲线 *a*，查图可得： $d_{60} = 6\text{mm}$ ， $d_{10} = 0.2\text{mm}$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{6}{0.2} = 30$$

因 $C_u > 10$ ，故不均匀，属级配良好的土。

(2) 曲线 *b*，查图可得： $d_{60} = 0.82\text{mm}$ ， $d_{10} = 0.18\text{mm}$

$$C_u = \frac{0.82}{0.18} = 4.56$$

因 $C_u < 5$ ，故为均匀的，属级配不好的土。

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（可达几千至几万个大气压力）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、

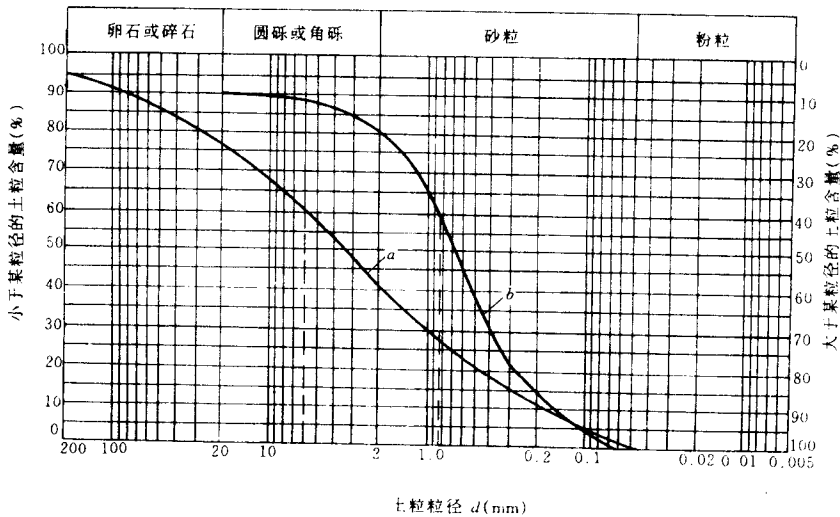


图 1-2 颗粒级配曲线

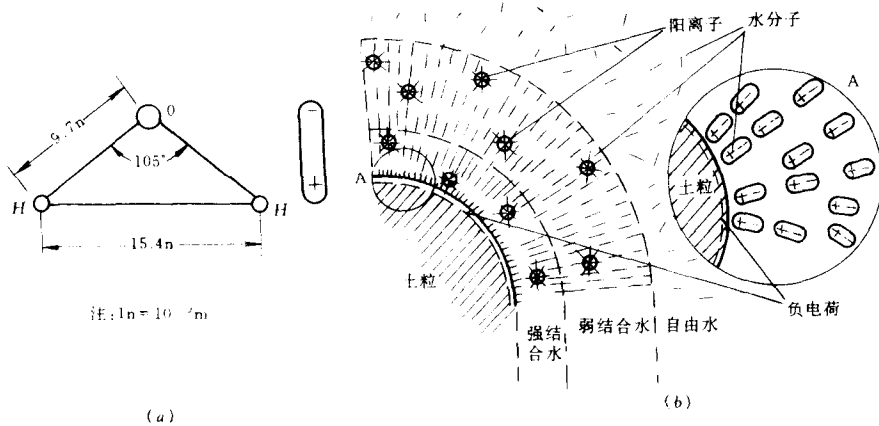


图 1-3 粘土矿物和水分子的相互作用
(a) 极性水分子示意图；(b) 土粒表面的结合水膜

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。

2. 弱结合水

弱结合水又称薄膜水，是位于强结合水外围的一层水膜，其厚度较强结合水大（约 $5 \sim 10 \mu$ ），具有较高的粘滞性和抗剪强度，不过仍不能传递静水压力，但较厚水膜可向较薄处转移，直至平衡为止。由于弱结合水的存在，使土具有可塑性。粘土颗粒比表面大，含薄膜水多，故可塑性范围大。砂粒比表面小，含薄膜水很少，故几乎不具可塑性。

随着与土粒表面的距离增大，吸附力减小，弱结合水逐渐过渡为自由水。

(二) 自由水

在土粒电场影响范围以外的水称自由水，它受重力作用，能传递静水压力和溶解盐类，温度 0°C 时结冰。自由水按其移动时所受作用力的不同，可分为重力水和毛细水。

1. 重力水

重力水是在土孔隙中受重力作用能自由流动的水，一般存在于地下水位以下的透水层中。重力水在土孔隙中流动时，产生动水压力，能带走土中细颗粒，而且还能溶解土中的盐类。这两种作用使土孔隙增大、压缩性提高和抗剪强度降低。在地下水位以下的土，受重力水的浮力作用，使土中应力状态发生变化。施工时，重力水对基坑开挖、排水等方面均产生很大影响。

2. 毛细水

毛细水是水与空气界面的表面张力作用而存在于细孔隙中的自由水，一般存在于地下水位以上的透水层中。由于表面张力作用，地下水沿着不规则的毛细孔上升，形成毛细水上升带。其上升高度视孔隙大小而定，粒径大于 2mm 的颗粒，孔隙较大，一般无毛细现象。极细小的孔隙，土粒周围有可能被结合水充满，亦无毛细现象。故毛细水主要存在于直径为 $0.002 \sim 0.5\text{mm}$ 的孔隙中。砂土、粉土及粉质粘土中毛细水含量较大。毛细水上升到地表会引起沼泽化、盐渍化，而且还会使地基润湿，降低强度，增大变形量。在寒冷地

区还会加剧土的冻胀作用。故在建筑工程中要注意防潮。

三、土中气体

土中气体以两种形式存在，一种与大气相通；另一种则封闭在土孔隙中与大气隔绝。在接近地表的粗粒土中，土孔隙中的气体常与大气连通，其含量决定于孔隙的体积和孔隙被水填充的程度，它对土的性质影响不大。在细粒土中常存在与大气隔绝的封闭气泡，它不易逸出，因此增大了土的弹性和压缩性，同时降低了土的透水性。在淤泥和泥炭土层中，由于微生物的活动和分解，在土中产生了一些可燃气体（如硫化氢、甲烷等），使土层在自重作用下不易压密而具有高压缩性。

四、土的结构

土的结构是指土颗粒的大小、形状、表面特征、相互排列及其联结关系的综合特征。一般可分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

(一) 单粒结构

单粒结构是无粘性土的基本组成形式，由较粗的砾石、砂粒在重力作用下沉积而成。因其颗粒较大，土粒的结合水很少，粒间没有粘结力，有时仅有微弱的毛细水连结。土粒排列的紧密程度随其沉积的条件不同而异。如果土粒沉积缓慢或受波浪反复冲击推动作用，则形成紧密的单粒结构（图 1-4a）。由于土粒排列紧密，强度大，压缩性小，是良好的天然地基。当土粒沉积速度快，如洪水冲积形成的砂层和砾石层，往往形成疏松的单粒结构（图 1-4b）。



图 1-4 单粒结构

(a) 紧密状态；(b) 疏松状态

由于土孔隙大，土粒骨架不稳定，当受到动力荷载或其它外力作用时，土粒容易移动而趋于紧密，同时产生很大变形。因此，未经处理的这种土层，一般不宜作建筑物的地基。如果饱和疏松的土是由细砂粒或粉砂粒所组成，在强烈的振动作用下，土的结构会突然破坏变成流动状态，引起所谓砂土“液化”现象，在地震区将会引起震害。

(二) 蜂窝结构

当较细的土粒（如粉粒：粒径为 0.005~0.075mm）在水中下沉碰到已经沉积的土粒时，由于它们之间的吸引力大于其自重，因而土粒将停留在接触面上不再下沉，形成了具有很大孔隙的蜂窝结构（图 1-5）。

(三) 絮状结构

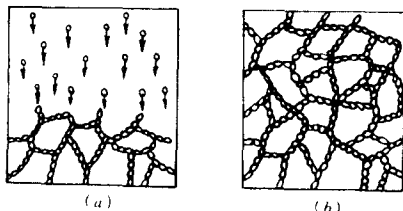


图 1-5 蜂窝结构

(a) 颗粒正在沉积；(b) 沉积形成的蜂窝结构

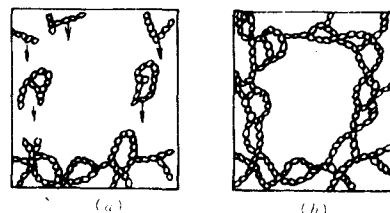


图 1-6 絮状结构

(a) 絮状集合体正在沉积；
(b) 沉积形成的絮状结构

细粒土（如粘粒粒径小于0.005mm）在水中处于悬浮状态，不会因单个颗粒的自重而下沉。当悬浮液中掺入某些电解质，粘粒间的排斥力因电荷中和而破坏，凝聚成类似海绵絮状的集合体，并在聚合到一定质量时相继下沉，和已沉积的絮状集合体接触，形成孔隙很大的絮状结构（图1-6）。

具有蜂窝结构和絮状结构的土，颗粒间存在大量微细孔隙，其压缩性大、强度低、透水性弱。又因土粒之间的联结较弱且不甚稳定，在受扰力作用下（如施工扰动影响），土粒接触点可能脱离，部分结构遭受破坏，土的强度会迅速降低。

具有蜂窝结构和絮状结构的土，其土粒之间的联结力（结构强度）往往由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

五、土的构造

土的构造是指同一土层中成分和大小都相近的颗粒或颗粒集合体相互关系的特征。一般可分为层状构造、分散构造和裂隙构造等。

1. 层状构造

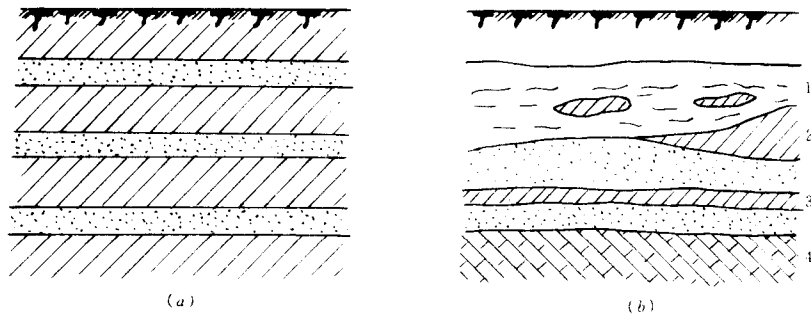


图 1-7 层状构造

(a) 水平层理；(b) 交错层理

1—淤泥夹粘土透镜体；2—粘土尖灭；3—砂土夹粘土层；4—基岩

土粒在沉积过程中，由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小或颜色不同，沿竖向呈层状特征。常见的有水平层理构造（图1-7a）和带有夹层、尖灭和透镜体等交错层理构造（图1-7b）。

2. 分散构造

土层中各部分的土粒无明显差别，分布均匀，各部分性质亦接近。例如，各种经过分选的砂、砾石、卵石等沉积厚度较大时，无明显层次，都属于分散构造（图1-8）。具有分散构造的土可作为各向同性体看待。

3. 裂隙构造

土体被许多不连续的小裂隙所分割，在裂隙中常充填有各种盐类的沉淀物。不少坚硬和硬塑状态的粘性土具有此种构造（图1-9）。黄土具有特殊的柱状裂隙。裂隙破坏土的整体性，增大透水性，对工程不利。

此外，土中的包裹物（如腐植物、贝壳、结核体）以及天然或人为的孔洞等构造特征亦造成土的不均匀性。