

高等学校大土木工程专业新编教材

土力学与基础工程

TULI XUE YU JICHU GONGCHENG

• 钱玉林 洪家宝 杨鼎久 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校大土木工程专业新编教材

土力学与基础工程

钱玉林 洪家宝 杨鼎久 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是大土木工程专业新编教材,分上、下两篇,共十二章。上篇系统地阐述了土的性质与工程分类、土中水的运动规律、土中应力、基础沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析和地基承载力;下篇系统地讨论了浅基础和桩基础设计、软土和特殊土地基处理。

本书深入浅出、重点突出、理论联系实际,吸收了国内外比较成熟的新理论和新技术,并配有多媒体教学课件;既可作为高等学校土木类专业的教材,也可供工程技术人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与基础工程/钱玉林等编著. —北京:中国水利水电出版社,2002
高等学校大土木工程专业新编教材
ISBN 7-5084-1088-2

I. 土… II. 钱… III. ①土力学-高等学校-教材②地基-基础(工程)-高等学校-教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 031185 号

书 名	高等学校大土木工程专业新编教材 土力学与基础工程
作 者	钱玉林 洪家宝 杨鼎久 等 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 17 印张 403 千字
版 次	2002 年 7 月第一版 2002 年 7 月第一次印刷
印 数	0001—3200 册
定 价	32.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

土力学与基础工程是一门综合性、理论性、应用性和实践性都很强的专业基础课程，其内容涉及工程地质、土力学、结构设计和施工等领域。从土木工程专业的要求出发，学习时应牢固掌握土的应力、应变和强度等基本原理，并能应用基本原理，结合有关结构理论和施工知识，分析和解决地基基础问题。

随着建筑技术的发展，传统的教学内容已不能适应土力学与基础工程的发展。针对土力学与基础工程课程概念多、涉及面广、实践性强的特点，为了更好地满足教育部新颁布的专业目录及面向 21 世纪土木工程专业培养方案，我们以原“建筑工程专业”、“交通土建专业”和“水利工程专业”等所需的土力学与基础工程知识为基础，适量吸收了国内外比较成熟的新理论和新技术，编写了这本适合大土木类专业的教材。

随着教学改革的深入，对高等教育的发展提出了新的要求，传统的教学手段已不能适应高等教育发展的需要。为了适应教学改革的需要，必须采用先进的教学手段，才能提高教学效率。多媒体课件这一教学手段可以帮助教师在有限的时间内将更多的知识传授给学生，同时，多媒体课件可以改变传统教学手段的单调模式，通过生动的画面和音响，使教学内容图文并茂，增加了学生的学习兴趣，使学生在有限的的时间里获得更多的知识。本书配有多媒体教学课件。

本书绪论、第三、四、八章由钱玉林编写，第一章由胡顺洋编写，第二章由徐金成编写，第五、十一章由洪家宝编写，第六章由许朝阳编写，第七、十章由杨鼎久编写，第九、十二章由张筛存编写。本书由河海大学殷宗泽任主审。本书的出版得到了扬州大学教材建设基金的资助，在此谨表谢忱。

本书的讲义稿已在扬州大学水利与建筑工程学院用过多届。限于编者水平，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

钱玉林

2002 年 5 月

目 录

前 言	
绪 论	1

上 篇 土 力 学

第一章 土的物理性质与工程分类	7
第一节 土的形成	7
第二节 土的组成	8
第三节 土的物理性质指标	13
第四节 无粘性土的密实度	18
第五节 粘性土的物理特性	19
第六节 土的工程分类	21
第七节 土的压实性	25
思考题	27
习题	28
第二章 土中水的运动规律	30
第一节 达西渗透定理	30
第二节 渗透系数及其测定方法	31
第三节 渗透力及渗透变形	33
第四节 土在冻结过程中水分的运动	35
思考题	36
习题	36
第三章 地基中的应力计算	37
第一节 地基中的自重应力	37
第二节 基底压力	39
第三节 地基中的附加应力	42
第四节 有效应力	55
思考题	59
习题	59
第四章 土体的变形特性及基础沉降计算	61
第一节 土体的变形特性	61
第二节 基础最终沉降量计算	65
第三节 地基土压缩的时间过程	79
第四节 实测沉降算法	82
第五节 建筑物沉降观测	86

思考题	87
习题	87
第五章 土的抗剪强度	89
第一节 概述	89
第二节 抗剪强度的测定方法	92
第三节 孔隙压力系数	98
第四节 土的抗剪强度指标	100
第五节 应力路径	109
思考题	113
习题	114
第六章 土压力计算	115
第一节 概述	115
第二节 朗肯土压力理论	117
第三节 库仑土压力理论	121
第四节 工程中的挡土墙土压力计算	126
第五节 挡土墙设计	129
思考题	136
习题	136
第七章 土坡稳定分析	138
第一节 概述	138
第二节 无粘性土土坡的稳定分析	139
第三节 粘性土土坡的稳定分析	140
思考题	146
习题	146
第八章 地基承载力	147
第一节 地基土的破坏型式	147
第二节 按塑性开展深度确定地基承载力	148
第三节 地基极限承载力的确定	151
第四节 按规范表格确定地基承载力	159
思考题	165
习题	165

下篇 基础工程

第九章 浅基础设计	169
第一节 概述	169
第二节 地基基础设计的一般原则和步骤	169
第三节 浅基础的类型及适用性能	171
第四节 基础埋置深度的选择	174
第五节 地基计算	177

第六节	刚性基础设计	180
第七节	扩展基础设计	186
第八节	柱下条形基础设计	189
第九节	片筏基础设计	203
第十节	箱形基础设计	205
思考题	.....	211
习题	.....	211
第十章	桩基础与沉井基础	213
第一节	概述	213
第二节	桩的分类与质量控制	215
第三节	单桩竖向承载力的确定	217
第四节	桩基竖向承载力设计值	221
第五节	桩基础设计	223
第六节	沉井基础	230
思考题	.....	232
习题	.....	233
第十一章	软弱地基处理	234
第一节	概述	234
第二节	碾压法与夯实法	236
第三节	换土垫层法	239
第四节	排水固结预压法	241
第五节	挤密法和振冲法	246
第六节	高压喷射注浆法与深层搅拌法	249
第七节	土工聚合物	251
思考题	.....	252
习题	.....	253
第十二章	特殊土地基	254
第一节	膨胀土地基	254
第二节	红粘土地基	258
第三节	湿陷性黄土地基	259
思考题	.....	263
习题	.....	264
参考文献	.....	265

绪 论

一、土力学、地基及基础

土力学的研究对象是“工程土”。土是岩石风化的产物，是岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积而形成的松散堆积物，颗粒之间没有胶结或是弱胶结。土的形成经历了漫长的地质历史过程，其性质随着形成过程和自然环境的不同而有差异。因此，建筑物设计前，必须对建筑场地土的成因、工程性质、不良地质现象、地下水状况和场地的工程地质条件等进行评判，密切结合土的工程性质进行设计和施工。否则，会影响工程的经济效益和安全使用。

土力学是工程力学的一个分支，是利用力学原理研究土的应力、应变、强度和稳定性等力学问题的一门应用学科。由于土的物理、化学和力学性质与一般刚体、弹性固体和流体有所不同，因此，土的工程性质必须通过土工测试技术研究确定。

建筑物都是建造在土层或岩层上的，通常把直接承受建筑物荷载的土层或岩层称为地基。未经人工处理就能满足设计要求的地基称为天然地基；需要对地基进行加固处理才能满足设计要求的地基称为人工地基。

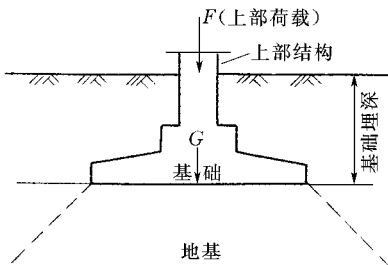


图 0-1 地基、基础和上部结构

设计时应根据场地的工程地质条件，综合考虑地基、基础和上部结构三部分的作用和施工条件，并通过经济、技术比较，选取安全可靠、经济合理、技术可行的地基基础方案。

二、土力学的发展简史

生产的发展和生活的需要，使人类早就懂得了利用土进行建设。西安半坡村新石器时代的遗址就发现了土台和石础；公元前 2 世纪修建的万里长城及随后修建的京杭大运河、黄河大堤等都有坚固的地基与基础。这些都说明我国人民在长期的生产实践中积累了许多土力学方面的知识。

18 世纪产业革命以后，随着城市建设、水利工程及道路工程的兴建，推动了土力学的发展。1773 年，法国的库仑（Coulomb）根据实验提出了砂土的抗剪强度公式和土压力理论；19 世纪中叶，大规模的桥梁、铁路和公路的建设，促进了桩基础理论和施工方法的发展；1957 年，英国的朗肯（Rankine）根据不同假设提出了土压力理论；1885 年，法国的布森涅斯克（Boussinesq）求出了半无限弹性体在垂直集中力作用下应力和变形的理论解答；1922 年，瑞典的费伦纽斯（Fellenius）为解决铁路塌方问题，研究并提出了土坡稳定

建筑物上部结构承受的各种荷载是通过基础传递给地基的，所谓基础是指承受建筑物各种荷载并传递给地基的下部结构。通常情况下，建筑物基础应埋入地面以下一定深度进入持力层，即基础的埋置深度。按照基础的埋置深度的不同，基础可分为浅基础和深基础。

在建筑物荷载作用下，地基、基础和上部结构三部分是彼此联系、相互影响和共同作用的，如图 0-1 所示。

设计时应根据场地的工程地质条件，综合考虑地基、基础

分析法；直到 1925 年，美国土力学专家太沙基 (Terzaghi) 发表了第一本《土力学》专著，从此，土力学成为一门独立的学科。

此后，随着大量引用弹性力学的研究成果，土体变形和破坏问题的研究得到了迅速发展。1927~1955 年，泰勒 (Taylor) 和毕肖普 (Bishop) 等建立与完善了滑弧稳定分析方法；1936 年，明德林 (Mindlin) 公式的提出并在桩基沉降计算中得到应用；1943 年，太沙基关于极限土压力的研究并提出了承载力公式；1941~1956 年，比奥 (Biot) 固结理论的提出和完善等。

1963 年，罗斯科 (Roscoe) 发表了著名的剑桥模型，标志着现代土力学的开端。经过 40 多年的努力，现代土力学已逐渐趋于成熟，并在下列几方面取得了重要进展：①非线性模型和弹塑性模型的深入研究和大量应用；②损伤力学模型的引入和结构性模型的初步研究；③非饱和土固结理论的研究；④砂土液化理论的研究；⑤剪切带理论及渐进破损问题的研究；⑥土的细观力学的研究等。

我国学者对土力学的研究始于 1945 年黄文熙在中央水利实验处创立的第一个土工实验室，50 多年来，土力学研究在各方面都得到了长足的进展，取得了许多重要研究成果，为土力学的发展和完善做出了积极的贡献。

现代科学的发展，使土力学的研究领域得到了明显的扩大，如土动力学、冻土力学、月球土力学、海洋土力学等都是新兴的土力学分支。

三、本课程的研究内容及学习方法

土力学是固体力学的一个分支，主要侧重于对土的力学分析，是研究土在力的作用下引起的应力、应变、强度和稳定性的一门学科。由于土是自然历史的产物，其性状变化很大。因此，在土力学研究过程中，除运用一般连续体力学的基本原理，还应密切结合土的实际情况进行研究。在处理工程中的土力学问题时，不能单凭数学和力学的方法，必须通过土的现场勘察及室内土工试验测定土的计算参数。因此，土力学是一门实践性很强的学科。

地基与基础统称为基础工程，基础工程是研究建筑物地基与基础受到上部结构荷载作用后的性状的，主要包括地基的受力性状、地基处理方法、基础型式等。由于基础工程为建筑物的隐蔽工程，一旦失事，不仅损失巨大，且难以补救，如图 0-2 所示。因此，基础工程的研究十分重要。

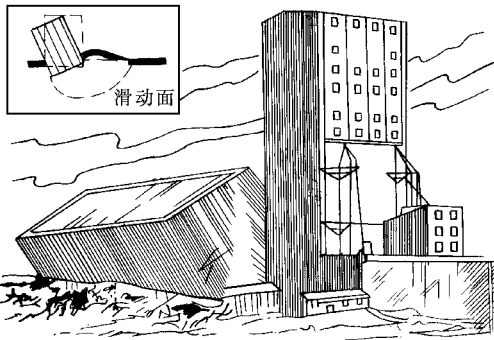


图 0-2 地基失事

土木工程中，会遇到各种有关土的工程地质问题。包括土作为建筑物地基、用作填筑材料及作为建筑物的介质等三个方面。特别是软土地基，常会遇到土质改良、沉降及不均匀沉降等问题。为保证建筑物的安全可靠、经济合理和技术可行，很好地解决这些问题，必须对地基土的物理力学性质有较深入的了解，从而提出合理的地基基础方案。如以土作为填筑材料的堤、坝，常用碾压的方法将填土压实，以提高填土的强度，增加填土的稳定性，这就要

求研究动力作用下土的压实性状。

根据土力学与基础工程的研究内容，学习中力求掌握以下几点：

(1) 要有工程的观点，不仅要掌握本课程的基本原理，还应掌握基础工程的实用工艺和设计施工方法。

(2) 要有遵守规范的观点，规范是工程经验的总结，规范是技术应用的依据，规范是法规，应该遵守。由于本教材涉及的规范较多，且各部门的规范又不统一，应用时应加以区分。

(3) 要培养学生分析问题、解决问题的能力，理论是实践的基础，没有正确的理论，就没有正确的实践。通过对基本概念、基本理论和基本技能的培养，结合工程实践，培养学生分析和解决问题的能力。

上 篇

土 力 学

第一章 土的物理性质与工程分类

[本章提要] 土是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散系。土的组成成分、颗粒大小反映了土的不同类别，其三相之间的比例关系，又表现出土的干湿、轻重、松密及软硬等不同的物理性质。而土的力学性质（强度、压缩性、渗透性等）又和物理性质紧密相关。如松散湿软的土，强度低，压缩性大；颗粒大的土，渗透性好；在动荷载作用下，颗粒不均匀的土易于压实等。土的物理力学性质直接影响到土的工程性质。

在进行土力学计算及处理地基基础问题时，不仅要知道土的物理特性及其变化规律，还必须掌握土的三相组成比例和状态指标的定义、试验和计算方法，以及按土的有关特征和指标确定地基土的分类。

本章要求必须掌握土的物理性质指标的定义、换算、试验和应用，熟练使用地基土的分类方法，掌握土的压实原理。

第一节 土 的 形 成

土是岩石经过风化、剥蚀、搬运和沉积作用形成的松散堆积物，颗粒之间没有胶结或弱胶结，绝大部分土形成于第四纪。

岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积作用最终变为土的过程是十分复杂而漫长的。风化作用属外动力地质作用，主要包括物理风化、化学风化和生物风化。物理风化作用是指由于温度的变化、水的冻融及盐类结晶等所产生的一种对岩石的机械破坏作用，物理风化作用的结果使岩石崩解、碎裂成岩块、岩屑。化学风化作用是指岩石在水、水溶液、氧和二氧化碳等作用下，产生氧化、溶解、水解、碳酸盐化等化学反应，不仅使岩石破碎，而且导致矿物成分和化学性质的变化。生物风化作用是指生物在繁衍生长过程中对岩石的一种破坏作用，就其性质而言，既有机械（物理）破坏的性质，又有化学风化的性质。因此，物理风化作用使岩块由大变小，产生量的变化；而化学风化作用除产生量的变化外，还使岩石产生质的变化。自然界中的几种风化作用是同时进行、互相影响的。可以说，土既是物理风化作用的产物，又是化学风化作用的产物。

岩石风化产物按其搬运方式和沉积状态，可分为残积土和运积土两类。

残积土是指岩石风化所形成的碎屑，残留在原地的堆积物。这种土常出现在宽广的分水岭地带，在平缓的山坡和低洼的谷地也有一定的分布。其特征是颗粒粗细不均、多棱角、无分选性、无层理，其矿物成分与下伏母岩相同，有时与母岩之间无明显界线。如我国华南花岗岩地区的残积土中富含石英颗粒，多形成砂土。而石灰岩残积土多数为红或棕红色粘土。残积土厚度变化大，作为建筑物地基时，应注意其不均匀沉降。

运积土是指岩石风化产物在重力、流水、风、冰川等外力作用下，被搬运到其它地方形成的堆积物。按搬运动力可分为坡积土、洪积土、冲积土、风积土等。

一、坡积土

岩石风化产物在重力、雨雪水流等地质作用下，沿着斜坡移动，沉积在坡面和坡脚附近的堆积物称为坡积土。坡积土自坡面至坡脚，颗粒由粗到细，表现出轻微的分选性，其矿物成分与下伏母岩无关。厚度变化大，薄者仅数厘米，厚者可达数十米。坡积土常沿下伏岩层倾斜面滑动，加上颗粒粗细变化大、土质不均，其强度及压缩性差异也较大，为不良地基土。

二、洪积土

由山洪暴雨和大量融雪而形成的暂时性洪水，把大量残积土、坡积土剥蚀、搬运到山谷或山麓平原沿途堆积而成的土称为洪积土。洪积土呈扇形分布，土颗粒从近到远由粗变细，表现出一定的分选性，因搬运距离不远，颗粒磨圆度较差，山洪不规则的周期性暴发所形成的堆积物也各不相同。洪积土中常有不规则交替的层理构造，并具有夹层、尖灭或透镜体等产状。一般离山前较近的洪积土有较高的强度，通常是较好的建筑地基。离山前较远的地段，洪积物的颗粒较细，成分均匀，且厚度较大，通常也是较好的地基。在过渡地段，常为宽广的沼泽地带，是不良的建筑地基。

三、冲积土

冲积土是河流流水的地质作用将两岸岩石及其上覆残积土、坡积土、洪积土剥蚀后搬运、沉积在河流坡降平缓地带形成的堆（沉）积物。冲积土的特点是具有明显的层理构造和很好的分选性，加上水中长距离搬运时的碰撞和摩擦，冲积土中的粗颗粒往往有较好的磨圆度。河流上游或洪水期沉积下来的土颗粒较粗，下游或洪水过后沉积下来的颗粒较细。所以，在河流上游修建水工建筑物时，常要考虑由于地基土的强透水性所引起的渗透和渗透变形问题。对于河流下游的建筑物，常要考虑地基土的高压缩性和低强度引起的沉降和稳定等问题。

四、风积土

由风力搬运形成的堆积物称为风积土，我国西北地区广泛分布的黄土是一种典型的风积土。黄土的主要特征是组成黄土的颗粒十分均匀，以粉粒为主，没有层理，有肉眼可以分辨的大孔隙，垂直裂隙发育，能形成直立的陡壁。黄土在干燥条件下有较高的承载力和较小的变形，但遇水后会产生湿陷，变形显著增大。因此，黄土地区修建水工建筑物应当谨慎。

第二节 土的组成

土与连续的固体物质不同，它是一种松散颗粒堆积物，是由固体颗粒、粒间孔隙中的水与气体组成的三相体系。固相、液相、气相三相中，固体颗粒构成了土的骨架，水和气体为粒间孔隙的充填物。当土骨架间的孔隙全部被水充填时，这种土称为饱和土；孔隙中不含水仅含空气的土称为干土；孔隙中既含空气又含水的土称为湿土，如地下水位以上一定范围内的土。各相属性及相互关系对土的工程性质有着重要的影响，因此，研究土的三相组成是了解土的工程性质的首要课题。

一、土的固相

（一）土的矿物成分

土是岩石风化的产物,土颗粒的矿物成分取决于成土母岩的成分和风化作用的类型。不同的矿物成分对土的性质的影响不同,土中矿物颗粒的成分主要有原生矿物和次生矿物两类。

1. 原生矿物

原生矿物是岩浆在冷凝过程中形成的矿物,如石英、长石、云母、角闪石、辉石等。它是母岩物理风化的产物,仅形状大小发生变化,矿物成分与母岩相同。由原生矿物构成的粗粒土,如漂石、卵石、圆砾等颗粒较粗,性质稳定,吸水能力很弱,无塑性。通常,级配好的粗粒土具有密度大、强度高、压缩性低、透水性好的特点。

2. 次生矿物

次生矿物是原生矿物进一步因氧化、水化、水解及溶解等化学风化作用后形成的矿物。粘土矿物是由各种硅酸盐类矿物分解形成的含水铝硅酸盐,颗粒极细,种类很多,可分为晶体和非晶体两大类,而以晶体矿物为主。粘土矿物的基本构成单元由硅氧晶片和铝氢氧晶片。硅氧晶片由一个硅离子和四个氧离子配位组成 [图 1-1 (a)],称为硅氧四面体;铝氢氧晶片由六个氧或氢氧离子以相等的距离排列而成,铝离子居中 [图 1-1 (b)],称为铝氢氧八面体。

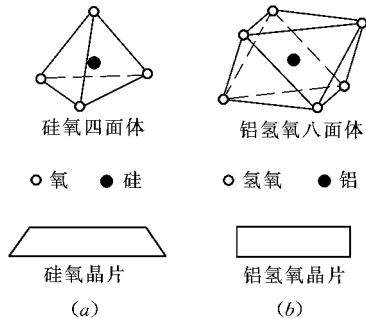


图 1-1 粘土矿物的基本单元

四面体和八面体的不同组合堆叠重复,形成了具有不同性质的各种粘土矿物,其代表矿物有高岭石、伊利石、蒙脱石。粘土矿物具有颗粒小、呈片状、比表面积大、吸水能力强、具塑性、性质活泼等特点。次生矿物中,蒙脱石的吸水膨胀和失水收缩性最显著,伊利石次之,高岭石最小。

另外,不能忽视土中有机质和水溶盐对土的物理力学性质和工程性质的不利影响,工程中对土中有机质和水溶盐的含量都有一定限制。

(二) 土的结构和构造

1. 土的结构

土的结构是指土颗粒的大小、形状、排列及联结方式等所表现出的综合特征。它对土的物理力学性质有重要的影响。土的主要结构类型有三种,即单粒结构、蜂窝结构、絮凝结构。

(1) 单粒结构:单粒结构的特点是粗颗粒在沉积过程中受重力控制,粒间以点接触为主,土颗粒间的分子吸引力相对较小,颗粒间几乎没有联结,当孔隙中未充满水分时,可能具有微弱的毛细水联结。单粒结构主要存在于由砾、砂等所组成的粗粒土中。

根据土颗粒间的排列,单粒结构又分为紧密结构和疏松结构两种 [图 1-2 (a)]。呈紧密状态单粒结构的土,在外荷载作用下不会产生较大的压缩,承载力较高,是良好的天然地基。呈疏松状态单粒结构的土,其骨架不稳定,当受到震动或其它外力作用时,会产生很大的变形,这种土未经处理一般不宜作为建筑物地基。

(2) 蜂窝结构:蜂窝结构多出现在由粉粒(粒径 $0.075\sim 0.005\text{mm}$)为主的细粒土中。粉粒在水中下沉时,基本上以单个土粒下沉,当碰到已沉土粒时,由于粒间相互作用的引

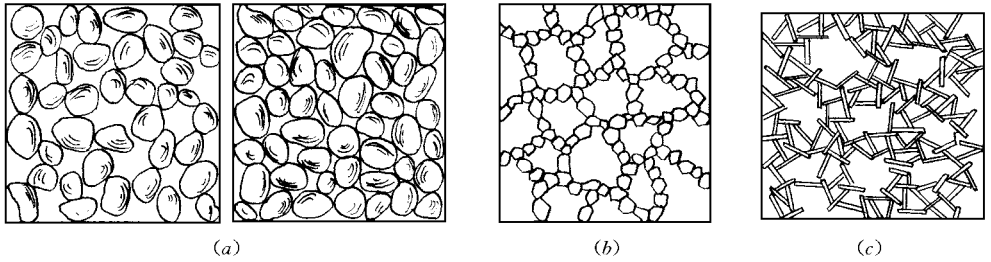


图 1-2 土的结构

力大于重力，土粒就停留在最初的接触点上不再下沉，形成具有较大孔隙的蜂窝结构 [图 1-2 (b)]。

(3) 絮凝结构：絮凝结构多见于由粘粒（粒径小于 0.005mm ）为主的粘性土中。粘粒能在水中长期悬浮而不下沉。当悬浮在水中的粘粒被带至电解质浓度较大的环境中（比如海水）时，粘粒将凝聚成絮状集合体下沉，并不断地和先期下沉的絮状集合体接触，最终形成孔隙更大的如同绒絮一样的絮凝结构 [图 1-2 (c)]。

蜂窝结构和絮凝结构的粘性土，土粒之间的联结强度（结构强度）在长期压密影响下会有所提高。

2. 土的构造

同一土层中的物质成分和颗粒大小等相近的各部分之间的相互关系特征称为土的构造。土的主要构造特征是层理构造，土在形成过程中，由于不同阶段所形成的沉积物在矿物成分、粒度成分、颜色等方面的差异表现出成层的特性；土的另一个构造特征是裂隙性，如黄土中的垂直裂隙，某些坚硬或硬塑粘土（如长江下游的下蜀粘土）中有不连续小裂隙。裂隙的存在，破坏了土的整体性，增大了透水性，对工程建设往往不利。土在构造上还有一些其它特征，如某些土中含有结核（礞石）和天然土洞等。

(三) 土粒大小和土的级配

1. 粒组划分

天然土是由无数大小不一、形状各异且变化悬殊的土粒组成。各种不同粒径的土粒在土中的比例不同，直接影响着土的性质。要逐个地研究土中各个颗粒，既没有必要，也不可能。工程上通常把大小相近、性质相似的土粒划分成若干组，这种组别称为粒组，划分粒组的分界粒径称为界限粒径。按照界限粒径的大小，将土粒划分为六个粒组：漂石（块石）、卵石（碎石）、圆砾（角砾）、砂粒、粉粒、粘粒等，其粒组名称和粒径范围见表 1-1。

2. 土的级配

土的级配是指土中各粒组相对含量的组成。粒组的相对含量是通过颗粒分析试验测定的，土的颗粒分析试验主要有筛分析法和比重计法。

筛分析法适用于粒径大于 0.075mm 的粗粒土，试验时取一定量的风干、分散土样放在一套标准筛（孔径为 2.0 、 1.0 、 0.5 、 0.25 、 0.15 、 0.075mm ）上震荡一定时间后，称出留在各筛孔上土的质量，即可算得各个粒组的相对含量。

表 1-1 土粒粒组的划分

粒组统称	粒组名称	粒径范围 (mm)	一般特性
巨粒组	漂石或块石颗粒	>200	透水性大, 无粘性, 无毛细水
	卵石或碎石颗粒	200~60	透水性大, 无粘性, 无毛细水
粗粒组	圆砾或角砾颗粒	60~2	透水性大, 无粘性, 毛细上升高度很小
	砂粒	2~0.075	易透水, 当混入云母等杂物时, 透水性减小, 压缩性增加; 无粘性, 遇水不膨胀, 干燥时松散; 毛细上升高度小, 随粒径变小而增大
细粒组	粉粒	0.075~0.005	透水性小; 湿时稍有粘性, 遇水不膨胀, 干时稍有收缩; 毛细上升高度较大且较快, 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; 毛细上升高度大, 且速度较慢

比重计法是根据 Stokes 原理, 测定粒径小于 0.075mm 的细粒土中各个粒组的相对含量。通常以上两种试验方法需联合使用。

颗粒分析试验的结果, 可以绘制出如图 1-3 所示的级配曲线。其横坐标表示粒径, 因为土粒粒径相差甚大, 用普通坐标难以表示, 常采用对数坐标。纵坐标表示小于某粒径土粒的百分含量。

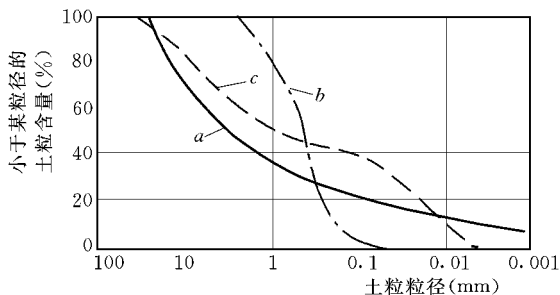


图 1-3 土的级配曲线

土的级配曲线有两种用途: ①评价土的级配好坏并藉此选择土料; ②利用级配曲线对粗粒土进行分类。

不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 两个指标反映了土颗粒分布的均匀程度, 其定义式为:

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

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}} \quad (1-2)$$

上二式中: d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 分别为级配曲线上颗粒含量小于 10%、30% 和 60% 的粒径, mm。工程上, 将 d_{10} 称为有效粒径, d_{60} 称为控制粒径。

不均匀系数 C_u 值愈大, 表示级配曲线愈平缓, 土粒粒径分布范围愈宽广 (图 1-3 中 a 线), 土粒愈不均匀, 土愈易于压实; C_u 值愈小, 级配曲线愈陡峻, 土粒粒径分布范围愈狭窄 (图 1-3 中 b 线), 土粒愈均匀, 土愈不易压实。

不均匀系数反映了土粒粒径的分布范围, 通常情况下, 不均匀系数可以反映土的级配好坏, 但无法反映土粒粒径的连续状况, 如土中缺乏中间粒径, 在级配曲线表现为台阶状 (图 1-3 中 c 线), 这时仅用不均匀系数来反映, 就可能得出错误的结论, 此时, 曲率系数 C_c 能反映土中颗粒之间的搭配好坏。

土的级配好坏需用不均匀系数和曲率系数共同加以判别,同时满足 $C_u \geq 5$ 及 $C_c = 1 \sim 3$ 的土,级配是良好的,用作填土用料,可得到较高的密实度;不能同时满足上述条件的土,称为级配不良的土。

利用级配曲线对粗粒土进行分类定名,可以大致了解土的工程性质。其具体方法见本章第六节有关部分。

二、土的液相

自然条件下,土是含水的,土中水的存在形式有:液态水、固态水和气态水。根据水对土的工程性质的影响,可把固态水作为土体矿物颗粒的一部分,气态水作为土中气体的一部分。土中液态水是指存在于土体孔隙中的水,可分为结合水和自由水。

(一) 结合水

自然界中,粘土颗粒表面通常带负电荷,在土粒形成的电场范围内,极性分子的水和水溶液中的阳离子,如 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} 等,在静电引力作用下,被牢牢地吸附在土颗粒周围,形成一层不能自由移动的水膜,这种水称为结合水,如图 1-4 所示。

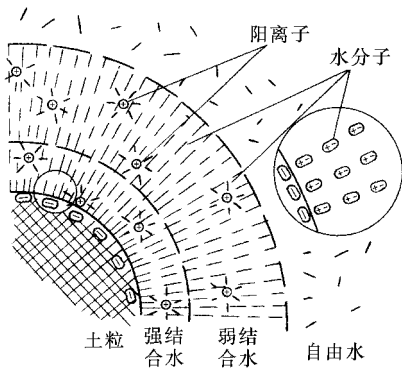


图 1-4 土中水

在土粒形成的电场范围内,由于距离土颗粒表面的远近不同,水分子和水化离子的活动状态及表现性质也不相同。根据水分子受到静电引力作用的大小,结合水又可以分为强结合水和弱结合水。

1. 强结合水

强结合水是指紧靠粘土颗粒表面的水。颗粒表面的静电引力最强,把水化离子和极性水分子牢固地吸附在颗粒表面,形成固定层。

强结合水的性质近于固体,没有溶解能力,不能传递静水压力,比重可达 $1.2 \sim 2.4$,冰点为 -78°C ,具有极大的粘滞性、弹性和抗剪强度,只有加温到 105°C

左右时,才能逸出。如果将干燥的土放在天然湿度的空气中,则质量将有所增加,直到吸足强结合水达到最大吸湿容量,土的比表面越大,最大吸湿容量就越大。当粘土中只含强结合水时,粘土呈固体状态,磨碎后呈粉末状态。

2. 弱结合水

弱结合水位于强结合水的外围,仍受到一定程度的静电引力作用,占有结合水膜的大部分,呈粘滞体状态。不能传递静水压力,但当相邻土颗粒水膜厚度不等时,水能从水膜较厚的颗粒移向水膜较薄的颗粒。当土中含有较多的弱结合水时,即表现为高塑性、易膨胀收缩性、低强度和高压缩性。

结合水在土中的含量主要取决于土的比表面的大小。所谓比表面是指单位体积(或单位质量)土颗粒的总表面积。粘土矿物的颗粒很细,比表面大,吸附结合水的数量多。粘粒中大量存在的结合水,使粒间透水的有效孔隙大为缩小,甚至全部充满,这是粘性土透水性差的一个重要原因。由于粘粒之间存在结合水,颗粒互不接触,使粘粒具有滑移的可能;同时相邻土粒间的结合水因受到颗粒引力的吸附,使颗粒间具有一定的联结强度,这就是粘性土具有粘性和可塑性的物理本质。