

21世纪土木建筑技术专业教材

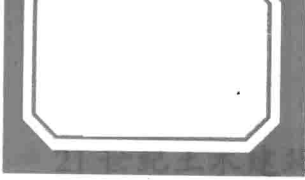
ERSHIYI SHIJI TUMU JIANZHU JISHU ZHUANYE JIAOCAI

土力学与 基础工程

主编 李侠
副主编 崔莹 付志霞



西南交通大学出版社



技术专业教材

土力学与基础工程

主 编 李 侠

副主编 崔 莹 付志霞

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

土力学与基础工程 / 李侠主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2012.9
21 世纪土木建筑技术专业教材
ISBN 978-7-5643-1909-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 194496 号

21 世纪土木建筑技术专业教材

土力学与基础工程

主编 李 侠

责任编辑	杨 勇
特邀编辑	曾荣兵
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川川印印刷有限公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	15.25
字 数	378 千字
版 次	2012 年 9 月第 1 版
印 次	2012 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1909-0
定 价	27.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

“土力学与基础工程”是高等院校土木建筑工程有关专业的一门重要课程。随着科学技术的发展和超高层建筑与重型设备的兴建,土力学理论和地基基础工程越发显得重要。据统计,各类建筑工程事故中,以地基基础引起的为首。因此,本课程是相关专业学生及工程管理技术人员必须掌握的。

本书参考了相关高等院校新编的同类教材。在编书过程中,我们把重点放在了理论紧密联系实际,语言通俗易懂,文字简明扼要,力求深入浅出,便于学生自学;每一章都有学习要点,并配有思考题,便于学生进行自测。

本书分为两部分:第一部分是土力学,第二部分是地基基础。编写原则如下:

(1) 讲清基本原理、理论和方法,不拘泥于推导过程。突出基本概念、原理和计算公式的应用条件,减少公式推导,加强工程应用内容,强调学生一线实用能力的培养。

(2) 力求体现国家标准和行业的最新规范。

(3) 在每章前面列出学习目标,明确相应的知识点和具体要求,便于学生掌握重点。

(4) 在编写过程中根据专业特点和课改的需要,对内容进行了适当删减,突出实用性,做到够用为度。

本书由西安财经学院李侠担任主编,西安石油大学崔莹和河南城建学院付志霞担任副主编。全书由李侠负责统稿、定稿工作。本书编写分工如下:李侠编写前言及第4、7、8章,崔莹编写第3、4章,河南城建学院付志霞编写第5、6章,西安建筑科技大学李瑞娥编写第1、2章,西安建筑科技大学赵楠编写第9章。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者给予批评指正。

编 者

2012年3月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 研究对象	1
1.2 介绍内容	1
1.3 发展简介	2
1.4 特点及学习要求	2
第 2 章 土的物理性质及工程分类	3
2.1 土的成因类型	3
2.2 土的三相组成	6
2.3 土的结构与构造	10
2.4 土的物理性质指标	11
2.5 土的物理状态指标	17
2.6 地基土的工程分类	20
本章小结	23
习 题	24
第 3 章 土的应力计算与地基沉降计算	25
3.1 土的变形特性	25
3.2 有效应力原理	26
3.3 地基中的应力分布	27
3.4 地基的最终沉降量	49
3.5 地基沉降与时间的关系	58
3.6 建筑物沉降观测与地基变形值	68
本章小结	75
思考题	76
习 题	76
第 4 章 土的抗剪强度与地基承载力	78
4.1 概 述	78
4.2 土的极限平衡条件	79
4.3 影响抗剪强度指标的因素	83
4.4 地基的临塑荷载和临界荷载	87

4.5 地基的极限承载力	90
本章小结	94
第 5 章 土压力与土坡稳定	95
5.1 概 述	95
5.2 静止土压力计算	98
5.3 朗肯土压力理论	99
5.4 库仑土压力理论	105
5.5 挡土墙设计	112
5.6 土坡稳定分析	117
本章小结	121
思考题	121
习 题	121
第 6 章 工程建设的岩土工程勘察	122
6.1 概 述	122
6.2 各阶段勘察的内容与要求	126
6.3 岩土工程勘察方法	129
6.4 地基土的野外鉴别与描述	133
6.5 岩土工程勘察成果报告	136
6.6 验 槽	141
本章小结	142
思考题	142
第 7 章 天然地基上浅基础设计	143
7.1 地基基础设计的基本规定与步骤	143
7.2 浅基础的类型	145
7.3 基础埋置深度的选择	147
7.4 基础底面积的确定	148
7.5 天然地基浅基础的设计	151
7.6 设计实例	159
7.7 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	162
7.8 天然地基上的浅基础小结	164
思考题	165
第 8 章 桩基础与深基础	167
8.1 概 述	167
8.2 桩及桩基础的分类	168

8.3 桩的承载力	171
8.4 桩基础的设计	171
8.5 其他深基础简介	175
本章小结	179
思考题	179
第9章 地基处理	180
9.1 概 述	180
9.2 地基处理方法与方案选择	183
9.3 换填垫层法	186
9.4 深层密实法	192
9.5 排水固结法	207
9.6 化学加固法	209
9.7 土的加筋	224
9.8 特殊土的处理	230
思考题	234
参考文献	235

第1章 绪论

1.1 研究对象

土力学是以土为对象,研究土的特性及其受力后应力、变形、强度和稳定性的科学。它是力学的一个分支,是为解决建筑物的地基基础、土工建筑物和地下结构物的工程问题服务的。

地球上的建筑物,无论是一般的住宅、办公楼和厂房,还是桥梁、码头、水电站等工程结构物,其全部荷载都是由地壳来承担,承受这些建筑物荷载的地层称为地基,建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础。地基基础是保证建筑物安全和满足使用要求的关键之一。

土力学是理论基础,为工程载体——岩土的特性及其应力应变、强度、渗流的基本规律在理论上作出解释;基础工程学则主要解决在岩土地基上进行工程的技术问题,两者形成了理论与应用的整体。

土力学是基础工程设计和施工技术的理论基础,而基础工程则是土力学与结构工程密切结合的结果。它们二者构成本课程的完整体系,包括土的工程性质指标的实验与设计参数确定方法,土的渗透、变形和强度稳定性的计算原理,地基基础的设计与施工方法三个主要部分。

1.2 介绍内容

“土力学与基础工程”是土木、水利、公路等专业的一门重要的基础课。这是一门综合性很强的技术基础课程,涉及知识面很广,包括地质学、土质学、胶体化学、弹性力学、水力学、材料力学以及各种结构工程等方面的内容。它由两个重要的部分组成:一部分是土力学的相关内容,包括土的物理力学性质以及土的强度理论、渗透理论和变形理论等的知识;另一部分是基础工程学的相关内容,包括地基基础设计和施工的知识。前者为解决工程问题提供试验方法和理论基础,后者具有极强的技术性和应用性。

土力学是一门研究与土的工程问题有关的学科。其内容包括土中地下水的流网分析、土中应力计算、沉降计算、固结理论、地基承载力计算、水压力计算和土坡稳定分析等,都是运用流体力学、弹性理论和塑性理论的基本原理研究土特殊性质材料的宏观力学行为所得到的结果,为地基基础设计提供了各种分析计算方法。

基础工程学是土木工程学科的一门重要分支。由于基础和上部结构是建筑物不可分割的组成部分,它们互为条件、相互依存,在设计和施工时必须统一考虑。地基基础的设计要求

是由整个建筑物的结构特点和使用要求所决定的,各种类型的上部结构的地基基础问题具有很大的专业特点。其内容包括:天然地基上浅基础的地基承载力计算与地基变形计算、基础底面反力分布与基础结构内力计算、基础的构造与配筋、深基础与桩基础的设计原理及施工要点、支挡结构设计、动力机器基础设计、液化判别与地基抗震设计、特殊性土地基(湿陷性黄土、红黏土、膨胀土、盐渍土和冻土)的判别与设计计算以及各类地基处理方法(换填法、强夯法、振冲法、预压法、高压喷射注浆、水泥土搅拌等)的设计原理与施工要点。

1.3 发展简介

土力学与地基基础既是一项古老的工程技术,又是一门年轻的应用科学。

我国古代的劳动人民基于生产、生活需要积累了大量实践经验,集中体现在能工巧匠的高超技艺。例如,隋朝石匠李春所设计的赵州石拱桥,不仅因其建筑和结构设计的成就而著称于世,就论其地基基础的处理也是颇为合理的。但是,由于受当时生产力发展水平的限制,未能提炼形成系统的科学理论。

18世纪欧洲工业革命时期,随着资本主义工业化的发展,为满足工业生产和建设需要,作为本学科理论基础的土力学开始发展,形成了一系列为解决实际工程建设而产生的理论和方法。这些理论和方法直到今天,仍不失其理论和实用价值。经过长达一个多世纪的发展,许多研究者继承前人的研究,总结实践经验,为孕育本学科的雏形而作出了贡献。1925年,K.太沙基(Terzaghi)归纳、发展了以往的成就,发表了《土力学》,接着于1929年又与其他作者一起发表了《工程地质学》。这些比较系统、完整的科学著作的出现,带动了各国学者对本学科各个方面的探索。从1936年在美国召开第一届国际土力学与基础工程会议起,至1997年,共计开过14次国际会议。其间,世界各地区(如亚洲、欧洲、非洲、泛美、澳新、东南亚等)以及包括新中国在内的许多国家也都开展了类似的活动,交流和总结了本学科新的研究成果和实践经验。从此,土力学及地基基础就作为独立的科学而取得不断的进展。

1.4 特点及学习要求

本课程是实践性和理论性都比较强的一门课程,在整个教学计划中,从基础课过渡到专业课,具有承上启下的作用,是专业教学前的一个重要环节。

本课程涉及工程地质、土力学、结构设计和施工等多个学科领域,所以内容复杂广泛、综合性强,读者学习时应该突出重点,兼顾全面;重视工程地质的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力,牢固掌握土的应力、应变、强度和地基计算等土力学基本原理,以便应用这些基本概念和原理,结合相关建筑结构理论和施工知识,分析和解决地基基础问题。

第2章 土的物理性质及工程分类

本章要点：本章要求了解土的形成，掌握不同成因类型土的工程性质；了解土的三相组成及其结构构造，掌握土的三相指标并能够进行指标间的换算；能够根据相关指数判断土的物理状态，了解地基土的不同分类。

2.1 土的成因类型

土是地壳表层坚硬岩石风化作用的产物残留在原地或经过搬运堆积在异地所形成的松散堆积物。根据岩屑搬运和沉积的情况不同，土可以分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、风积土等。

2.1.1 残积物（土）

残积土指原岩经风化、剥蚀未被搬运，残留在原地的岩石碎屑。残积土一般分布在基岩曾经出露地表面而又受到强烈风化作用的山区、丘陵及斜坡地的基岩顶部，见图 2.1。

残积土由黏性土或砂类土与具有棱角状的碎石所组成，有较高的孔隙度，没有经过搬运、分选，无层理，厚度变化大，一般在山坡上较薄，在坡脚或低洼处较厚。如以残积层作为建筑物地基，应当注意不均匀沉降和土坡稳定性问题。在我国南方地区某些残积土有其特殊的工程性质。例如，由石灰岩风化而成的残积红黏土，虽然其孔隙比较大、含水量高，但因其结构性强故而承载力高；由花岗岩风化而成的残积土，虽室内测定压缩模量较低，孔隙比也比较大，但其承载力并不低。

2.1.2 坡积土

坡积土是指山坡上方的岩石风化产物在重力作用下被缓慢流动的雨、雪水向下逐渐搬运，沉积在较平缓山坡上而形成的堆积物，见图 2.2。

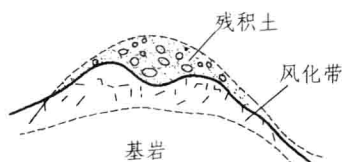


图 2.1 残积土

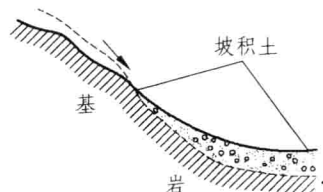


图 2.2 坡积土

坡积土的上部常与残积物相接,堆积的厚度也不均匀,一般上薄下厚。坡积物底面的倾斜度取决于基岩,颗粒自上而下呈现由粗到细的分选现象,其矿物成分与其下的基岩无关。作为地基时,由于坡积物的孔隙大、压缩性高,应注意不均匀沉降和地基稳定性。

由于坡积土形成于山坡,故较易沿下卧基岩倾斜层面发生滑动。在坡积土上进行工程建设时,除应注意不均匀沉降外,还应考虑坡积土本身发生滑坡的可能及施工开挖后边坡的稳定性问题。

2.1.3 洪积土

洪积土是山区集中的洪水携带大量固体物质流出沟口后,由于流速降低、水流分散,集中在山口堆积而成的沉积物,在地貌学上称为山麓洪积扇,见图 2.3。

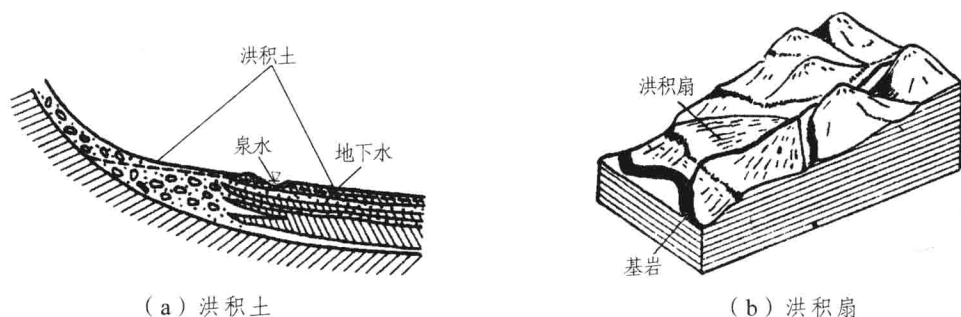


图 2.3 洪积土与洪积扇

洪积土的分选作用较明显,离冲沟出口越远,颗粒越细。洪积土常呈现不规则的交互层理构造,有尖灭、夹层等产状。洪积扇的顶部(近山区)颗粒粗大、磨圆性差,透水性好,地下水位深,地层厚,常是优良的地基地层。洪积扇的前沿(远山区)沉积的主要是粉细砂、粉土、黏性土等细粒土。当该处地下水位浅、地势低洼时,在排水不畅处很容易形成盐碱地或沼泽地,其承载力低、压缩性高,属不良地基地层。但当泉水发育在洪积扇的中部时(地下含水层也常在泉水发育处尖灭),受形成过程中周期性干旱的影响,在临坡面大的远山区细颗粒土中,细小的黏土颗粒发生胶结作用,同时析出的部分可溶性盐类也发生胶结,使土体具有了较高的结构强度。这种情况下的远山区洪积土也属较好的地基地层。但布置在该处的工程项目在建设中一定要做好地面的排水设施,以免地表水渗入地下影响地基承载能力,或在地表汇流造成地表边坡的冲刷、破坏。洪积扇的中部扇形展开得很宽阔,沉积着砾石、砂粒、粉粒和黏土颗粒等,地层呈交互层理构造,一般属于较好的地基地层;但当有泉水发育时,往往形成宽广的沼泽地带,属不良地基地层。

2.1.4 冲积土

冲积土即河流冲积物,是被河流流水搬运,沉积于山间宽广的山谷地带和地壳相对下降的平原地区的堆积物,可细分为山区河谷冲积物和平原河谷冲积物。冲积土的特点是具有明显的层理构造;经搬运作用,组成颗粒磨圆度较好。随着从上游到下游的流速逐渐减小,冲积土具

有明显的分选现象。上游沉积物多为粗大颗粒，中下游大多由砂粒逐渐过渡为粉粒和黏粒。

在山区，河谷两岸陡峭，大多仅有河谷阶地存在，很少有河漫滩，见图 2.4。山区河谷冲积土多由含纯砂的卵石、砾石等组成，其分选性也较平原河谷冲积物差。山区河谷冲积土的透水性很大，抗剪强度高，几乎不可压缩，是良好的地基地层。高阶地地层往往是岩石或坚硬土层，作为地基，其条件很好。但在山区河谷地带进行工程建设时，必须考虑山洪、滑坡、崩塌等不良地质现象的发生。

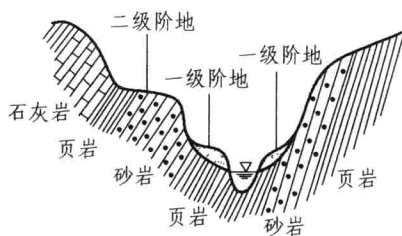


图 2.4 山区河谷横断面示例

平原河谷冲积土包括平原河床冲积土、河漫滩冲积土、河流阶地冲积土、牛轭湖沉积土和三角洲沉积土等。沉积历史、沉积环境、沉积物质不同的平原河谷冲积物其工程性质差异巨大。河床冲积土大多为中密砂粒，作为建筑物地基的承载力高，但需注意河流冲积作用可能导致地基毁坏以及凹岸边坡稳定问题。河漫滩冲积土其下层为砂粒、卵石等粗粒物质，上部为淤泥和泥炭土时，其压缩性高、强度低，作为建筑物地基时应认真对待，尤其是在淤塞的古河道地区，更应慎重处理；如冲积土为砂土，则承载力可能较高，但开挖基坑时要注意可能的流砂现象。河流阶地冲积土（见图 2.5）是由河床沉积土和河漫滩沉积土演变而来，形成时间较长，强度较高，可作为建筑物良好地基。

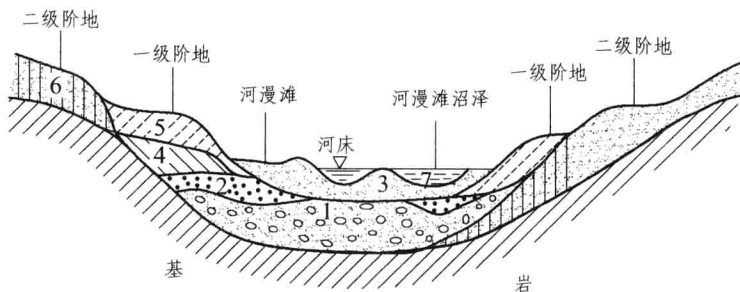


图 2.5 平原河谷横断面示例

1—砂卵石；2—中粗砂；3—粉细砂；4—粉质黏土；5—粉土；6—黄土；7—淤泥

2.1.5 风积土

风积土是指在干旱条件下，岩石的风化碎屑物被风吹扬，搬运一段距离后，在有利的条件下堆积起来的一类沉积物。最常见的风积土是风成砂及风成黄土。

2.1.6 其他沉积土

外力地质作用的其他营力作用下还会形成其他类型的松散堆积层，如湖泊地质作用形成的湖积土、海洋地质作用形成的海积土、冰川地质作用形成的冰积土等。

2.2 土的三相组成

土是地表岩石经过漫长的地质历史时期,在物理风化、化学风化和生物风化作用下,逐渐形成大小不一的碎块,再经过各种自然力量的搬运、沉积,形成的以固体矿物颗粒、水和气体组成的碎散集合体。在天然状态下,土为三相物质组成,即由固体颗粒、水和空气三相所组成。固体颗粒主要是土粒,有时还有粒间的胶结物和有机质,它们构成土的骨架;液相部分为水及其溶解物;气相部分为空气和其他微量气体。

当土骨架之间的孔隙被水充满时,我们称其为饱和土或完全饱和土;当土骨架间的孔隙不含水时,称其为干土;而当土的孔隙中既含有水,又有一定量的气体存在时,称其为非饱和土或湿土。

2.2.1 土中的固体颗粒

在土的三相组成中,固体颗粒形成土的骨架,是决定土的工程性质的主要成分。对土中固体颗粒主要从其矿物成分、颗粒的大小以及分布来描述。

1. 土颗粒的矿物成分

由于土是岩石风化的产物,所以土颗粒的矿物组成取决于成土母岩的矿物组成及其后的风化作用。土中矿物成分可以分为原生矿物和次生矿物。原生矿物是岩石经过物理风化生成的,其矿物成分与母岩相同,如石英、长石、云母等。次生矿物是原生矿物经化学风化或生物化学风化作用后所生成的新矿物,其矿物成分与母岩不同。次生矿物有很多种,难溶性盐类如 CaCO_3 、 MgCO_3 等,可溶性盐类如 CaSO_4 、 NaCl 等,还包括各种黏土矿物如高岭石、伊利石和蒙脱石等。由于各类黏土矿物亲水性不同,当各类矿物的含量不同时土的工程性质就不同。

黏土矿物是指具有片状或链状结晶格架的铝硅酸盐,由原生矿物中的长石及云母等矿物风化形成。黏土矿物具有与原生矿物很不相同的特性,其对黏性土的性质影响很大。

黏土矿物主要有蒙脱石、高岭石和伊利石三种类型。

(1) 蒙脱石。其晶层结构是由两个硅氧晶片中间夹一个铝氢氧晶片构成。由于连接力弱,水分子很容易进入晶层之间,其矿物晶格结构很不稳定,正离子交换能力极强,活动性强,吸附水的能力强,具有强烈的吸水膨胀和失水收缩特性,是黏土矿物中亲水性最强的一类矿物。工程中如果遇见富含此类矿物的黏性土体时,一定要分析其膨胀性的大小,并对其膨胀性可能对工程的危害加以防范。

(2) 伊利石。伊利石是云母在碱性介质中风化的产物。晶层结构由两个硅氧晶片中间夹一个铝氢氧晶片构成,晶层间有钾离子连接。其晶格结构的稳定性、正离子交换能力、活动性和吸附水的能力等均介于蒙脱石和高岭石之间。

(3) 高岭石。由长石、云母风化而成,其晶层结构是由一个硅氧晶片中间夹一个铝氢氧晶片构成,晶层间通过氢键连接。由于氢键连接力较强,高岭石类矿物晶格结构较稳定,所以不容易吸水膨胀、失水收缩,或者说亲水能力差。

由于黏土矿物颗粒细小且扁平,且表面带有负电荷,所以极容易和极化的水分子相吸引。

土颗粒的表面积越大，这种吸引力越强，黏土矿物表面积的相对大小可以用单位体积（或质量）的颗粒的总表面积来表示，称为土的比表面积。土颗粒越细，比表面积越大，则吸水能力越强。

另外风化过程中，在微生物作用下，土中产生复杂的腐殖质。土中胶态的腐殖质颗粒细小，能吸附大量的水分子，由于这种极细颗粒的存在，使得土具有高塑性、膨胀性和高压缩性，所以对工程建设是极不利的，故对于有机质含量大于 3%~5% 的土，应加注明“此种土不适宜作为填筑材料”。

2. 土的粒度成分

土颗粒大小不同，其性质也不同。例如，粗颗粒的砾石，具有很大的透水性，完全没有黏性和可塑性；而细颗粒的黏土透水性很小，黏性和可塑性较大。颗粒大小通常以粒径表示。通常将工程性质相似、颗粒大小相近的土粒归并成组，称为粒组。

（1）土的粒组划分。

目前，土的粒组划分方法并不完全一致，各个国家、甚至一个国家的各个部门或行业都有一些不完全相同的土颗粒划分规定。表 2.1 所示为常用土粒组划分方法，即将土粒划分为六大粒组：漂石或块石、卵石或碎石、圆砾或角砾、砂粒、粉粒以及黏粒，各粒组界限粒径分别为 200 mm、20 mm、2 mm、0.075 mm 和 0.005 mm。

表 2.1 土粒粒组划分

粒组名称	粒径范围/mm	一般特性
漂石或块石粒组	>200	透水性大，无黏性，无毛细水
卵石或碎石粒组	20~200	透水性大，无黏性，无毛细水
圆砾或角砾粒组	2~20	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
砂粒粒组	0.075~2	易透水，当混入云母等杂物时透水性减小，而压缩性增加；无黏性，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
粉粒粒组	0.005~0.075	透水性小；湿时稍有黏性，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
黏粒粒组	<0.005	透水性很小；湿时有黏性、可塑性，遇水膨胀大，干时收缩显著；毛细水上升高度大，且速度较慢

（2）土的粒度成分。

土的粒度成分，是指土中各种不同粒组的相对含量（以干土质量的百分比表示），可以描述土中不同粒径土粒的分布特征，也称颗粒级配或粒径级配，可通过颗粒分析试验得到。工程中颗粒分析常用两种方法：对于粒径大于 0.075 mm 的粗粒土采用筛分法；小于 0.075 mm 的细粒土则采用沉降分析法。

筛分法是用一套孔径分别为 20、10、5、2、1、0.5、0.25、0.075 mm 的筛子，将事先称

过质量的烘干土样过筛,称量留在筛子上的土样质量,然后计算相应的百分数。沉降分析法是根据土粒在悬液中沉降的速度与粒径平方成正比的斯托克斯公式来确定各粒组相对含量的方法,基于这一原理实验室常用密度计法、移液管法来测定。

颗粒分析试验成果可用表或曲线表示。用表表示的常见于土工试验成果表中,用粒径级配曲线表示试样颗粒组成是一种较完善的方法,其纵坐标表示粒径小于某一粒径的土占总质量的百分数,横坐标表示土的粒径(因为土粒粒径相差数百、数千倍以上,小颗粒土的含量又对土的性质影响较大,所以横坐标用粒径的对数值表示),所得曲线称为颗粒级配曲线或颗粒级配累积曲线,如图 2.6 中,曲线 a 、 b 表示两个试样颗粒级配情况,由曲线坡度陡缓可大致判断土的均匀程度:如果曲线陡峻,表示土粒大小均匀,级配不好;反之则表示土粒不均匀,级配良好。

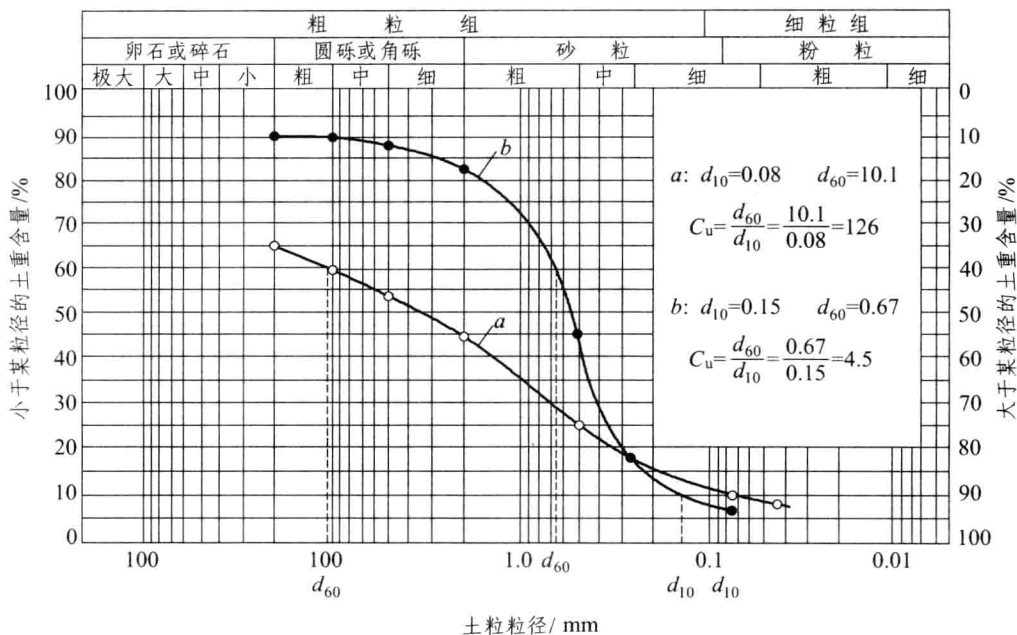


图 2.6 土的颗粒级配曲线示例

工程上常用土粒的不均匀系数和曲率系数来定量判断土的级配好坏。

不均匀系数:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.1)$$

曲率系数:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (2.2)$$

式 (2.1)、(2.2) 中:

d_{10} , d_{30} , d_{60} ——相当于累计百分含量为 10%、30% 和 60% 的粒径;

d_{60} ——限定粒径;

d_{10} ——有效粒径。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况： $C_u < 5$ 的土为均粒土，如图 2.6 中曲线 b 代表的土样（ $b = 4.5$ ），属不良级配； $C_u > 10$ 的土（如图 2.6 中曲线 a 代表的土样）为级配良好的土； $C_u = 5 \sim 10$ 的土为级配一般的土。工程中也有以两个指标来判断土级配的情况，例如水电部《土工试验规程》（SDS01—79）规定，对于纯净的砂、砾，当 $C_u \geq 5$ ，且 $C_c = 1 \sim 3$ 时，其级配良好；不能同时满足上述条件时，其级配是不好的。

2.2.2 土中的水

在自然状态下，绝大多数环境中的土总是含水的，土中的水可以为液态，也可以为固态或气态。研究土中的水时，必须考虑其存在状态及其与土粒之间的相互作用。存在于土粒矿物晶格以内的水称为结晶水。土中的结晶水只能在较高的温度（ $80^\circ\text{C} \sim 680^\circ\text{C}$ ，随土粒矿物成分的不同而异）下才能变为水汽而与土粒分离，因此在一般工程中，结晶水被视为矿物固体颗粒的一部分。由于一般情况下水汽和结晶水对土的工程性质影响不大，所以通常所说的水是指常温状态下的液态水。

按土中水是否受土粒电场力作用可以将土中水分为两类：一类称为结合水，另一类称为自由水。

1. 结合水

一般情况下，土粒的表面带有负电荷，在土粒周围形成电场，吸引水中的氢原子一端使其定向排列，形成围绕土颗粒的结合水膜，如图 2.7 所示。我们将受土颗粒电场力作用而吸附于土粒周围的土中水称为结合水。通常将结合水分为强结合水和弱结合水两种。受颗粒电场力吸引，紧紧吸附于颗粒周围的结合水称为强结合水。强结合水的特征是：没有溶解能力，不能传递静水压力，受外力作用时与土颗粒一起移动，性质近于固体，具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。

弱结合水是指紧靠于强结合水外围的一层水膜，故又称薄膜水。它仍不能传递静水压力，但水膜较厚的弱结合水能向较薄的水膜缓慢转移，直到平衡。弱结合水的存在，使土具有可塑性。由于黏性土比表面积较大，含薄膜水多，故其可塑性范围大；而砂土比表面积较小，含薄膜水极少，故几乎不具有可塑性。

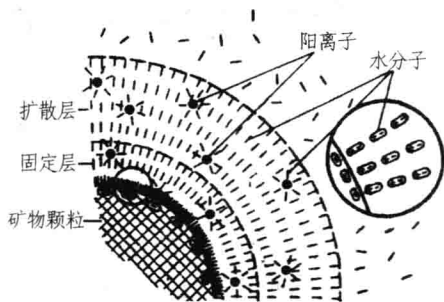


图 2.7 结合水分子定向排列简图

2. 自由水

自由水是指土粒电场力影响范围以外的土中孔隙水。自由水的性质和普通水一样，冰点为 0°C ，有溶解能力，能传递静水压力。土中的自由水包括重力水和毛细水两种。

重力水是存在于地下水位以下含水层中的土中自由水，也称地下水。重力水在自身重力作用下能在土体中产生渗流，故对土中应力状态、开挖基槽与基坑以及修筑地下构筑物时所采取的排水、防水措施有重要影响；同时对土粒及置于其中的结构物还有浮力作用。

毛细水是受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水，存在于地下水位以上的透水层中。

2.2.3 土中的气体

土中的气相是指充填在土的孔隙中的气体，包括与大气连通的和不连通的两类。与大气连通的气体对土的工程性质没有多大影响，它的成分与空气相似，当土受到外力作用时，这种气体很快从土孔隙中逸出；但是密闭的气体对土的工程性质有很大影响，密闭气体成分可能是空气、水汽、天然气或其他气体等，在压力作用下可被压缩或溶于水中，压力减小时又能复原，对土体的性质有一定的影响，其存在可使土体的渗透性减小、弹性增大，延缓土体的变形随时间的发展过程。

2.3 土的结构与构造

2.3.1 土的结构

土粒的结构是指由土粒的大小、形状、相互排列及其联结关系等形成的综合特征。它是在形成土的过程中逐渐形成的，与土的矿物成分、颗粒形状和沉积条件等有关，对土的工程性质有重要影响。土的结构一般分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型，见图 2.8。

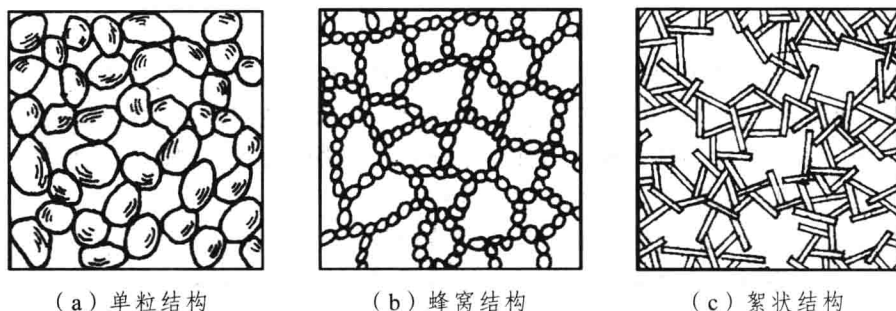


图 2.8 土的结构示意图

1. 单粒结构

土在沉积过程中，较粗的岩屑和矿物颗粒在自重作用下沉落，每个土粒都为已经下沉稳定的颗粒所支承，各土粒相互依靠重叠，构成单粒结构。其特点是土粒间为点接触，或较密实，或疏松。疏松状态的单粒结构土在外荷载作用下，特别是在振动荷载作用下会使土粒移向更稳定的位置而变得比较密实。密实状态的单粒结构土压缩性小、强度大，是良好的地基土层。

2. 蜂窝结构

蜂窝结构主要是由粉粒（ $0.05 \sim 0.005 \text{ mm}$ ）所组成的土的典型结构形式。较细的土粒在自重作用下沉落时，碰到别的正在下沉或已经下沉的土粒，由于该类土粒细而轻，粒间接触点处的引力可阻止其继续下沉，土粒被吸引着不再改变其相对位置，逐渐形成链环状单元。很多这样的单元联结起来，就形成了孔隙较大的蜂窝状结构。蜂窝结构的土中，单个孔隙的