



普通高等院校土木工程专业“十三五”规划教材
国家应用型创新人才培养系列精品教材

www.jccbs.com
免费下载

土力学

Soil Mechanics

主 编 杨庆光 胡贺松 刘 杰



中国建材工业出版社

土木工程专业“十三五”规划教材
创新人才培养系列精品教材

土力学

主 编 杨庆光 胡贺松 刘 杰

副主编 李 雷 倪晓慧 周 斌

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学/杨庆光, 胡贺松, 刘杰主编. --北京:

中国建材工业出版社, 2017. 3

普通高等院校土木工程专业“十三五”规划教材国家
应用型创新人才培养系列精品教材

ISBN 978-7-5160-1678-7

I. ①土… II. ①杨… ②胡… ③刘… III. ①土力学
—高等学校—教材 IV. ①TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 245992 号

内 容 简 介

本教材包括以下内容: 绪论; 土的物理性质及工程分类; 土的渗透性及渗流问题; 土中的应力计算; 土的变形特征及沉降量计算; 土的抗剪强度及地基承载力; 土压力理论和土坡稳定性分析; 土的动力特性。

本教材内容充实、概念清楚、层次分明、覆盖面广、重点突出, 内容覆盖了建筑工程、交通土建工程及铁道工程专业领域内的土力学主要内容, 满足我国当前对“大土木”的人才培养需要。教材内容与我国现行的有关规范规程保持一致。本书除作为本科教材外, 还可以作为土木工程注册考试的参考用书。

土力学

主 编 杨庆光 胡贺松 刘 杰

副主编 李 雷 倪晓慧 周 斌

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 15.5

字 数: 380 千字

版 次: 2017 年 3 月第 1 版

印 次: 2017 年 3 月第 1 次

定 价: 48.80 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906



言

本教材紧密结合现代人才培养模式的改革,结合“拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力”的方针,特别针对应用型本科院校“卓越工程师”的培养要求,较系统地介绍了土力学的基本理论知识、分析方法及在实践工程中的应用等。

本教材内容充实、概念清楚、层次分明、覆盖面广、重点突出,内容覆盖了建筑工程、交通土建工程及铁道工程专业领域内的土力学主要内容,满足我国当前对“大土木”的人才培养需要。教材内容与我国现行的有关规范规程保持一致,除作为本科教材外,还可以作为土木工程注册考试的参考用书。

本教材包括以下内容:绪论;土的物理性质及工程分类;土的渗透性及渗流问题;土中的应力计算;土的变形特征及沉降量计算;土的抗剪强度及地基承载力;土压力理论和土坡稳定性分析;土的动力特性。

参加本教材编写的人员有:湖南工业大学杨庆光(第4章、第5章),广州市建筑科学研究院有限公司胡贺松(第2章、第3章),湖南工业大学刘杰(绪论),中矿资源勘探股份有限公司李雷(第6章),嘉兴学院倪骁慧(第7章),湖南工业大学周斌(第1章),杨庆光负责全书的统稿和定稿工作。本教材得到了浙江省重点专业建设项目——土木工程(41652002Z)经费资助。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,热忱欢迎读者批评指正。

编者
2017年2月

目 录

绪论	1
0.1 土力学的概念、特点和作用	1
0.2 土力学的发展概况	1
0.3 本课程的内容、要求及学习方法	3
第1章 土的物理性质及工程分类	4
1.1 土的形成	4
1.1.1 土的生成	4
1.1.2 土的成因类型	4
1.1.3 土的结构和构造	7
1.1.4 土的工程特性	9
1.1.5 土的生成与工程特性间的关系	10
1.2 土的三相组成	10
1.2.1 土中的固体颗粒	11
1.2.2 土中的水	16
1.2.3 土中的气体	18
1.3 土的物理性质指标	19
1.3.1 土的基本试验指标	19
1.3.2 土的松密程度指标	20
1.3.3 土的含水程度指标	21
1.3.4 土的单位体积质量或重度指标	21
1.3.5 指标的换算	22
1.4 土的物理状态指标	27
1.4.1 无黏性土的物理状态指标	27
1.4.2 黏性土的物理状态指标	28
1.5 土的工程分类	33
1.5.1 土的工程分类依据	33
1.5.2 《建筑地基基础设计规范》分类法	33
1.5.3 《公路土工试验规程》分类法	36
1.5.4 细粒土的活性指数	41
1.6 土的压实性	42

1.6.1	土的压实性基本理论	42
1.6.2	击实试验	43
1.6.3	击实试验影响因素	44
	习题	46
第2章	土的渗透性及渗流问题	48
2.1	概述	48
2.2	土的渗透性理论	49
2.2.1	土的渗透性与渗流分类	49
2.2.2	渗流模型	49
2.2.3	达西定律	50
2.2.4	渗透系数及测定方法	52
2.2.5	影响渗透系数的主要因素	56
2.3	渗透力与渗透变形	56
2.3.1	渗透力与临界水力坡降	56
2.3.2	渗透变形	60
2.4	平面渗流及流网	63
2.4.1	平面渗流基本理论	63
2.4.2	流网的特征及绘制	64
2.4.3	流网的工程应用	65
	习题	67
第3章	土中的应力计算	69
3.1	概述	69
3.2	地基土的自重应力	70
3.2.1	自重应力的计算	70
3.2.2	地下水对自重应力的影响	72
3.3	地基土的基底压力	72
3.3.1	基底压力及其分布规律	72
3.3.2	基底压力的计算	74
3.3.3	基底净反力及取值	76
3.4	地基土的附加应力	76
3.4.1	集中荷载作用下附加应力计算	77
3.4.2	矩形基础下附加应力计算	79
3.4.3	条形基础下附加应力计算	86
3.4.4	圆形面积下竖向均布荷载作用时附加应力计算	88
3.4.5	不同规范中附加应力计算方法对比	89
3.4.6	非均质和各向异性地基中附加应力	90
3.5	有效应力原理	92

3.5.1	有效应力基本概念	92
3.5.2	有效应力原理的应用	93
3.5.3	静孔隙水压力与超静孔隙水压力	97
3.5.4	孔隙压力系数	98
习题		101
第4章 土的变形特征及沉降量计算		103
4.1	土的变形特征	103
4.1.1	基本概念	103
4.1.2	土的应力应变关系	104
4.2	侧限条件下土的压缩性	105
4.2.1	侧限条件下土的压缩性试验	105
4.2.2	侧限条件下土的压缩性指标	107
4.3	原位条件下土的压缩性	110
4.3.1	静载荷试验及压缩性指标	110
4.3.2	旁压试验及压缩性指标	112
4.4	地基沉降量计算	114
4.4.1	概述	114
4.4.2	分层总和法	114
4.4.3	《建筑地基基础设计规范》建议方法	119
4.4.4	地基回弹和再压缩变形	124
4.5	应力历史对地基沉降的影响	125
4.5.1	天然土层应力状态	125
4.5.2	先期固结压力 p_c 的确定	126
4.5.3	不同应力历史下地基最终沉降计算	127
4.6	地基沉降与时间关系	129
4.6.1	饱和土的渗透固结	129
4.6.2	太沙基一维渗流固结理论	130
4.6.3	地基沉降与时间关系计算	133
4.6.4	地基沉降量的组成分析	136
习题		137
第5章 土的抗剪强度及地基承载力		140
5.1	概述	140
5.2	土的抗剪强度理论	141
5.2.1	土体中任一点的应力状态	141
5.2.2	库仑定律	143
5.2.3	莫尔—库仑强度理论	144
5.3	土的抗剪强度测定方法	146

5.3.1	直剪试验	146
5.3.2	三轴压缩试验	149
5.3.3	无侧限压缩试验	153
5.3.4	十字板剪切试验	154
5.4	工程中抗剪强度指标的确定方法及影响因素	156
5.4.1	抗剪强度指标的选择	156
5.4.2	《建筑地基基础设计规范》中建议法	156
5.4.3	抗剪强度指标的影响因素	157
5.5	应力路径	159
5.5.1	应力路径基本概念	159
5.5.2	总应力路径与有效应力路径	160
5.6	地基土的破坏模式及界限荷载	164
5.6.1	地基土破坏形式及其判定	164
5.6.2	破坏模式的影响因素和判别	165
5.6.3	地基土的临塑荷载	166
5.6.4	地基土的界限荷载	167
5.7	地基的极限承载力	168
5.7.1	普朗德尔公式	168
5.7.2	太沙基公式	169
5.7.3	汉森公式	170
5.7.4	影响地基承载力的因素	172
5.8	地基容许承载力	173
5.8.1	地基容许承载力概念	173
5.8.2	按《建筑地基基础设计规范》确定地基承载力	173
5.8.3	按《公路桥涵地基与基础设计规范》确定地基承载力	176
	习题	180
第 6 章	土压力理论和土坡稳定性分析	182
6.1	概述	182
6.1.1	土压力的类型	182
6.1.2	影响土压力的因素	184
6.1.3	土坡稳定的作用	184
6.1.4	影响土坡稳定的因素	186
6.2	静止土压力计算	186
6.2.1	静止土压力	186
6.2.2	静止土压力系数	187
6.2.3	静止土压力的应用	188
6.3	朗金土压力理论	188
6.3.1	基本假设	188

6.3.2	主动土压力	189
6.3.3	被动土压力	190
6.4	库仑土压力理论	193
6.4.1	无黏性土主动土压力	193
6.4.2	无黏性土被动土压力	196
6.4.3	《建筑地基基础设计规范》建议方法	197
6.4.4	黏性土中库仑土压力	197
6.5	朗金理论与库仑理论的异同	198
6.6	几种常见情况下的土压力计算	199
6.6.1	成层土的土压力	199
6.6.2	墙后填土中有地下水	199
6.6.3	填土表面满布均布荷载	200
6.6.4	填土表面受局部均布荷载	201
6.6.5	墙背形状有变化情况	202
6.6.6	有限土体中土压力	202
6.6.7	考虑地震效应的土压力	202
6.6.8	有车辆荷载的土压力	204
6.7	无黏性土坡稳定分析方法	206
6.8	黏性土中几种土坡稳定分析方法	207
6.8.1	瑞典条分法	207
6.8.2	毕肖普法	209
6.8.3	简布法	210
6.8.4	不平衡荷载传递法	213
	习题	215
第7章	土的动力特性	217
7.1	概述	217
7.2	土的动力特性	217
7.2.1	动荷载及其基本特性	217
7.2.2	土体的动强度指标	221
7.2.3	土体动力参数	226
7.3	土的振动液化	228
7.3.1	液化的基本概念	228
7.3.2	影响土体液化的主要因素	229
7.3.3	地震场地的划分	231
7.3.4	地基液化判别与防治	232
	习题	235
	参考文献	237

绪论

0.1 土力学的概念、特点和作用

土力学 (soil mechanics) 是研究土体的一门力学, 它是研究土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定的一门学科。广义的土力学又包括土的生成、组成、物理力学性质及分类在内的土质学。土力学也是一门实用的学科, 它是土木工程的一个分支, 主要研究土的工程性质, 解决工程问题。

在土木工程中, 天然土层常被作为各类建筑 (构筑物) 的地基, 如在土层上建造房屋、桥梁、涵洞、堤坝等; 或利用土作为建筑物周围的环境, 如在土层中修建地下建筑、地下管道、渠道、隧道等; 还可利用土作为土工建筑物的材料, 如修建高速公路、铁路、土坝等。因此, 土是土木工程中应用最为广泛的一种建筑材料或介质。

土是矿物或岩石构成的松软集合体, 由于其形成年代、生成环境及物质成分不同, 工程特性亦复杂多变。土中颗粒之间没有联结或联结强度远小于颗粒本身的强度。土中固体颗粒之间有大量孔隙, 由水和空气填充。水在孔隙中渗透显示出土的透水性; 土孔隙体积的变化显示出土的压缩性; 在土体的荷载等外界因素作用下, 土粒错位显示出土内摩擦和黏聚的抗剪强度特性。因此, 土具有碎散性、压缩性、固体颗粒之间相对移动性和渗透等特性。由于钢材、木材为连续介质固体材料, 而土体为非连续松散介质材料, 因此土与钢材、木材等土木工程材料有本质区别, 这是土体不同于其他材料的一个重要特点。

土力学研究内容主要包括以下几个方面: 土体的渗透性和渗流; 土体的应力—应变和应力—应变—时间的本构关系, 以及强度准则和理论; 在均布荷载或偏心荷载以及各种荷载形式作用下, 基础与地基土接触面上的应力分布及基础底面下不同深度位置的应力分布, 地基土的压缩变形量与时间关系, 以及地基土的稳定性和地基承载力取值问题; 根据极限平衡理论对天然土坡及人工边坡稳定性进行评价; 计算自重及附加荷载作用下挡墙上所受侧向土压力大小, 为挡土墙结构设计提供依据; 土体的动力特性及测定土体的动力参数, 为动荷载作用下的建筑物 (构筑物) 设计提供理论依据。

土力学是土木工程专业的一门基础课程, 其任务是保证各类建筑物 (构筑物) 既安全又经济, 使用正常, 不发生各类工程事故。因此, 需要学习和掌握土力学的基本理论知识, 为地基基础、地下建筑结构及与土体有关的工程设计和建设提供依据。

0.2 土力学的发展概况

由于生产的发展和生活上的需要, 人类从出现开始从来没有离开过土, 并在与土打交

道的过程中,创造性地建立了一套利用和开发土体的工程经验。例如,我国的大型宫殿、万里长城、赵州桥等;国外的古埃及金字塔、古罗马桥梁工程等,都体现了人类在利用土方面的丰富经验。同样,在与土打交道的过程中,出现了很多与土有关的工程问题。如意大利的比萨斜塔、苏州的虎丘塔,受到建筑物地基土不均匀沉降的影响,导致比萨斜塔和虎丘塔都出现了不同程度的倾斜,进而对建筑物的结构造成一定的影响。对于软土地基上的建筑物,地基土的过大沉降,也会对建筑物结构造成一定程度的危害,如上海展览中心馆、墨西哥市艺术馆。当地基承载力满足不了结构荷载的要求时,容易造成地基土的破坏,如加拿大特朗斯康谷仓,美国纽约某水泥仓库,我国上海市闵行区莲花河畔景苑小区等典型案例。此外,土坡滑动、地基土液化、地基土的冻胀等问题均会对结构安全造成不同程度的影响。

18 世纪的工业革命后,推动了工业、铁路和城市建设等事业的飞速发展,使人们面临着许多与土有关的工程问题,特别是上述一些工程事故的发生,促使一批土力学研究先驱者从理论和试验方面展开相关研究,从而促进了土力学理论的产生和发展。

1773 年,法国人库仑 (Coulomb) 根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。1857 年,英国人朗金 (Rankine) 用另一途径提出挡土墙土压力计算理论,这对后来土体强度理论的发展起到了很大的作用。1856 年,法国工程师达西 (Darcy) 研究了砂土的透水性,提出了达西定律,分析了土中的渗流问题。1885 年法国学者布辛奈斯克 (Boussinesq) 求出了弹性半空间无限体表面竖向集中力作用时土中应力、变形的理论解答。

20 世纪 20 年代,土力学方面的研究取得了较快的发展。1915 年,瑞典的彼得森 (Pettersson) 首先提出,后由瑞典费伦纽斯 (Fellenius) 及美国的泰勒 (Taylor) 进一步发展了土坡稳定分析的圆弧滑裂面法,对边坡稳定理论的发展起到重要的影响。1920 年,法国学者普朗特 (Prandtl) 发表了地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式。通过学术界和工程界的不懈努力和经验积累,到 1925 年,美籍奥地利人太沙基 (Terzaghi) 在归纳总结前人及其本人研究成果的基础上,发表了第一本关于土力学的专著——《土力学》,标志着土力学学科的诞生,因此太沙基也被称为“土力学之父”。许多国家和地区也都开展了土力学及岩土工程类的学术活动,交流经验,并不定期出版土力学相关学术著作,这对土力学学科的发展起到了积极的推动作用。

新中国的成立,改革开放的深入,使我国基础建设得到了高速的发展,为土力学学科的发展提供了沃土。陈宗基教授对土的流变性和黏土结构的研究;黄文熙院士对土的液化的探讨以及提出考虑侧向变形的地基沉降计算方法;钱家欢教授等主编的《土工原理与计算》一书,较全面地总结了土力学的新发展,在国内有较大的影响;沈珠江院士在土体本构模型、土体静动力数值分析、非饱和土理论等方面取得了令人瞩目的成就。自 1962 年以来,我国先后召开了数届全国土力学与岩土工程会议,并建立了许多地基基础研究机构和岩土工程实验室,对土力学理论和实践的发展作出了重大的贡献。

自 20 世纪 50 年代,特别是 20 世纪 70 年代以来,现代科学技术进入本学科各个领域,计算理论和计算技术得到了飞速的发展,土力学的研究进入了崭新的发展阶段。今后,土力学理论与实践将以更快的速度向前发展,为人类的未来作出更大的贡献。

0.3 本课程的内容、要求及学习方法

根据高等学校土木工程专业指导委员会编制的“土力学”课程教学大纲和应用型土木工程人才培养要求,本书共分为7章,除重点阐述土力学的基本理论外,还配合理论介绍了相关的工程实例,主要包括以下几个方面的内容:

(1) 第1章“土的物理性质及工程分类”。这是本课程的基础。了解土的三相组成,掌握土的物理力学性质和土的物理状态指标的定义、物理概念和计算公式。要求熟练掌握物理性质指标的三相换算方法,了解不同行业中地基土的分类依据和定名方法。

(2) 第2章“土的渗透性及渗流问题”。了解土体的渗流基本理论,掌握土体渗透系数的测定方法、土体渗流分类方法及平面渗流中流网绘制及应用方法。

(3) 第3章“土中的应力计算”。掌握土的自重应力、基底压力以及各种分布荷载作用下基底附加应力的分布情况,此外,还要求熟练掌握有效应力的基本概念,并了解有效应力原理在工程中的应用。

(4) 第4章“土的变形特征及沉降量计算”。掌握土的变形特性和土体的最终沉降量计算方法,并要求掌握土体的应力历史与沉降的关系、太沙基一维固结理论及时间与沉降关系,及各自的沉降量计算方法。

(5) 第5章“土的抗剪强度及地基承载力”。要求掌握土体抗剪强度理论、抗剪强度的测定方法、抗剪强度取值方法及影响因素,了解应力路径的基本概念。了解各种地基的破坏模式,掌握地基临塑荷载、界限荷载、地基极限承载力和地基容许承载力的确定方法。

(6) 第6章“土压力理论和土坡稳定性分析”。掌握各种土压力的形成条件、朗金和库仑土压力理论,并掌握几种常见情况下的土压力计算方法。了解无黏性土边坡和黏性土边坡稳定性分析的常用方法。

(7) 第7章“土的动力特性”。了解土体动荷载及其基本特性,掌握土体动强度指标、土体动力参数及其测定方法。了解土体的液化概念及影响因素,并要求掌握土体液化的判别方法及其防治的常用方法。

本课程涉及的自然科学范围很广,需要具备材料力学、结构力学和弹性理论的基础知识,此外,还需要了解弹塑性理论、流变理论以及地下水动力学等方面的知识。

在本课程学习中,必需牢固掌握土中应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,自始至终抓住土的变形、强度和稳定性问题这一重要线索,特别注意认识土的多样性和易变形等特点。学习过程中突出基本概念的重要性,掌握基本原理,抓住重点,理论联系实际,重在工程应用。



第1章 土的物理性质及工程分类

1.1 土的形成

1.1.1 土的生成

土是由岩土，经物理化学风化、剥蚀、搬运、沉积，形成固体矿物、流体水和气体的一种集合体。

不同的风化作用形成不同性质的土，风化作用有下列三种：

1. 物理风化

岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀，由于温度、湿度的变化，发生不均匀膨胀与收缩，使岩石产生裂隙，崩解为碎块。这种风化作用，只改变颗粒的大小与形状，不改变原来的矿物成分，称为物理风化。

由物理风化生成的土为粗粒土，如块碎石、砾石和砂土等，这种土总称为无黏性土。

2. 化学风化

岩石的碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质相接触时，逐渐发生化学变化，原来组成矿物的成分发生了变化，产生一种新的成分——次生矿物。这类风化称为化学风化。

经化学风化生成的土为细粒土，具有黏结力，如黏土与粉质黏土，总称为黏性土。

3. 生物风化

动物、植物和人类活动对岩体的破坏称生物风化。例如：长在岩石缝隙中的树，因树根伸展使岩石缝隙扩展开裂；人们开采矿石、石材，修铁路打隧道，劈山修公路等活动形成的土，其矿物成分没有变化。

1.1.2 土的成因类型

土是在第四纪（距今约一百万年）由原岩风化产物经各种地质作用剥蚀、搬运、沉积而成的。第四纪沉积物在地表分布极广，成因类型也很复杂。不同成因类型的沉积土，各具有一定的分布规律、地形形态及工程性质，下面分别介绍其中主要的几种成因类型。

1. 残积土、坡积土和洪积土

(1) 残积土

原岩经风化作用而残留在原地的碎屑物，称为残积土。它的分布受地形控制。在宽广的分水岭上，由于地表水流速度很小，风化产物能够留在原地，形成一定的厚度。在平缓

的山坡或低洼地带也常有残积土分布。

残积土中残留碎屑的矿物成分，在很大程度上与下卧母岩一致，这是它区别于其他沉积土的主要特征。例如，砂岩风化剥蚀后生成的残积土多为砂岩碎块。由于残积土未经搬运，其颗粒大小未经分选和磨圆，大小混杂，均质性差，土的物理力学性质各处不一，且其厚度变化大。因此，在进行工程建设时，要注意残积土地基的不均匀性。我国南部地区的某些残积土，还具有一些特殊的工程性质。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，因而承载力高。又如，由花岗岩风化而成的残积土，虽室内测定的压缩模量较低，孔隙比也较大，但其承载力并不低。

(2) 坡积土

高处的岩石风化产物，由于受到雨雪水流的搬运，或由于重力的作用而沉积在较平缓的山坡上，这种沉积土称为坡积土。它一般分布在坡腰或坡脚，其上部与残积土相接。坡积土随斜坡自上而下逐渐变缓，呈现由粗而细的分选作用，但层理不明显。其矿物成分与下卧基岩没有直接关系，这是它与残积土明显的区别之处。

坡积土底部的倾斜度取决于下卧基岩面的倾斜程度，而其表面倾斜度则与生成的时间有关。时间越长，搬运、沉积在山坡下部的物质越厚，表面倾斜度也越小。在斜坡较陡地段的厚度常较薄，而在坡脚地段的坡积土则较厚。

由于坡积土形成于山坡，故较易沿下卧基岩倾斜面发生滑动。因此，在坡积土上进行工程建设时，要考虑坡积土本身的稳定性和施工开挖后边坡的稳定性。

(3) 洪积土

由暴雨或大量融雪骤然集聚而成的暂时性山洪急流，将大量的基岩风化产物剥蚀、搬运、堆积于山谷冲沟出口或山前倾斜平原而形成洪积土。由于山洪流出沟谷口后，流速骤减，被搬运的粗碎屑物质先堆积下来，离山渐远，颗粒随之变细，其分布范围也逐渐扩大。洪积土的地貌特征是，靠山近处窄而陡，离山较远处宽而缓，形似扇形或锥体，故称为洪积扇（锥）。

洪积物质离山区由近渐远，颗粒呈现由粗到细的分选作用，碎屑颗粒的磨圆度由于搬运距离短而仍然不佳。又由于山洪大小交替和分选作用，常呈现不规则交错层理构造，并有夹层或透镜体（在某一土层中存在着形状似透镜的局部其他沉积土）等，如图 1-1 所示。

从工程观点可把洪积土分为三个部分：靠近山区的洪积土，颗粒较粗，所处的地势较高，而地下水位埋藏较深，且地基承载力较高，常为良好的天然地基；离山区较远地段的洪积土多由较细颗粒组成，由于形成过程受到周期性干旱作用，土体被析出的可溶盐类胶结而较坚硬密实，承载力较高；中间过渡地段由于地下水溢出地表而造成宽广的沼泽地，土质较弱而承载力较低。

2. 冲积土

河流两岸的基岩及其上部覆盖的松散物质，被河流流水剥蚀后，经搬运、沉积于河流坡降平缓地带而形成的沉积土，称为冲积土。冲积土的特点是具有明显的层理构造。经过

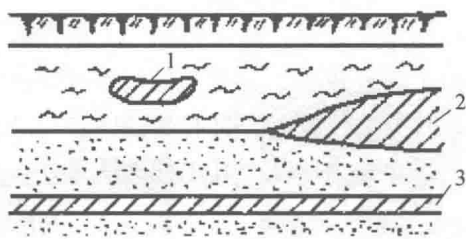
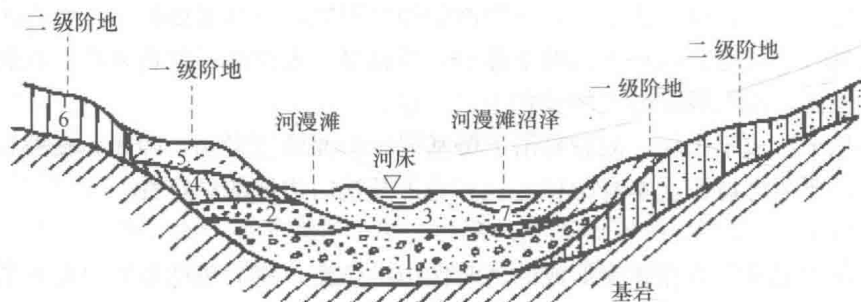


图 1-1 土的层理构造

1—淤泥夹黏土透镜体；2—黏土夹页岩；
3—砂土夹黏土层

(1) 平原河谷冲积土

平原河谷的冲积土比较复杂,它包括河床沉积土、河漫滩沉积土、河流阶地沉积土及古河道沉积土等,如图 1-2 所示。河床沉积土大多为中密砂砾,作为建筑物地基,其承载力较高,但必须注意河流冲刷作用可能导致建筑物地基的毁坏以及凹岸边坡的稳定问题。河漫滩沉积土下层为砂砾、卵石等粗粒物质,上层则为河水泛滥时沉积的较细颗粒的土,局部夹有淤泥和泥炭层。河漫滩地段地下埋藏很浅,当沉积土为淤泥和泥炭土时,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,则其承载力可能较高,但开挖基坑时必须注意可能发生的流砂现象。河流阶地沉积土是由河床沉积土和河漫滩沉积土演变而来的,其形成时间较长,又受周期性干燥作用,故土的强度较高,可作为建筑物的良好地基。



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

(2) 山区河谷冲积土

在山区,河谷两岸陡峭,大多仅有河谷阶地,如图 1-3 所示。山区河流流速很大,故沉积土颗粒较粗,大多为砂粒所填充的卵石、圆砾等。山间盆地和宽谷中有河漫滩冲积土,其分选性较差,具有透镜体和倾斜层理构造,但厚度不大。在高阶地往往是岩石或坚硬土层,作为地基,其工程地质条件很好。

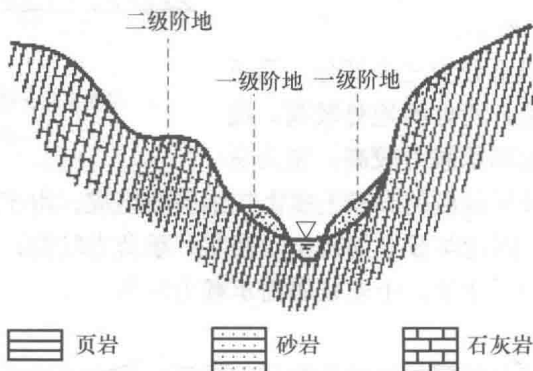


图 1-3 山区河谷横断面示例

(3) 三角洲冲积土

三角洲冲积土是由河流所搬运的物质在入海或入湖的地方沉积而成的。三角洲的分布范围较广，其中水系密布且地下水位较高，沉积物厚度也较大。

三角洲沉积土的颗粒较细，含水量大且呈饱和状态。当建筑场地存在较厚的淤泥或淤泥质土层时，将给工程建设带来许多困难。在三角洲沉积土的上层，由于经过长期的干燥和压实，已形成一层所谓的“硬壳”层，硬壳层的承载力常较下面土层高，在工程建设中应该加以利用。另外，在三角洲建筑时应注意查明有无被冲积土所掩盖的暗浜或暗沟存在。

3. 其他沉积土

除了上述几类沉积土外，还有海洋沉积土、湖泊沉积土、冰川沉积土及风积土等，它们分别由海洋、湖泊、冰川及风等的地质作用形成。

1.1.3 土的结构和构造

很多试验资料表明，同一种土，原状土样和重塑土样的力学性质有较大差异。这就是说，土的组成成分不是决定土性质的全部因素，土的结构和构造对土的性质也有很多影响。

土的结构包含微观结构和宏观结构两层概念。土的微观结构，常简称为土的结构，或称为土的综合特征。土的宏观结构，常称之为土的构造，是同一土层中的物质成分和颗粒大小等都相互关联的特征，表征了土层的层理、裂隙及大孔隙等宏观特征。

1. 土的结构

(1) 单粒结构 (single grain fabrics)

单粒结构是由粗大土粒在水或空气中下沉而形成的，土颗粒相互有稳定的空间位置，碎石土与砂土均属于此类。在单粒结构中，土粒的粒度和形状、土粒在空间的相对位置决定其密实度。因此，这类土的孔隙比的值域变化较宽。同时，因颗粒较大，土粒间的分子吸引力相对很小，颗粒间几乎没有联结。只是在浸润条件下，粒间会有微弱的毛细压力联结。

单粒结构可以是疏松的，也可以是紧密的（图 1-4）。呈紧密状态单粒结构的土，由于其土粒排列紧密，在动、静荷载作用下都不会产生较大的沉降。所以强度较大，压缩性较小，一般是良好的天然地基。

呈疏松状态单粒结构的土，其骨架是不稳定的，当受到震动及其他外力作用时，土粒易发生移动，土中孔隙剧烈减少，引起土的很大变形。因此，这种土层如未经处理，一般不易作为建筑物的地基或路基。

(2) 蜂窝结构 (honeycomb fabric)

蜂窝结构主要是由粉粒或细砂组成的

土的结构形式。据研究，粒径为 $0.005 \sim 0.075 \text{mm}$ （粉粒粒组）的土粒在水中沉积时，基本上是以单个土粒下沉，当碰上已沉积的土粒时，由于它们之间的相互引力大于其重力，因此土粒就停在最初的接触点上不再下沉，逐渐形成土粒链，土粒链组成弓架结构，形成具有很大孔隙的蜂窝状结构，如图 1-5 所示。具有蜂窝结构的土有很大孔隙，但由于弓架作用和一定程度的粒间联结，使得其可以承担一般的水平静力载荷。但是，当其承受高应

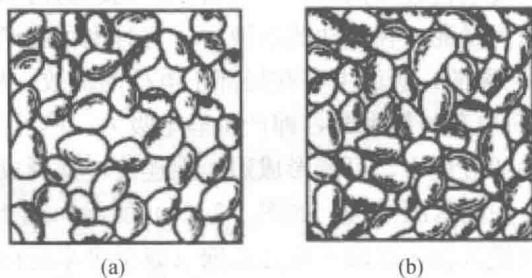


图 1-4 土的单粒结构

(a) 疏松的；(b) 紧密的

力水平荷载或动力荷载时，其结构将破坏，并可导致严重的地基变形。

(3) 絮状结构 (flocculated fabric)

细小的黏粒（其粒径 $0.0001 \sim 0.005\text{mm}$ ）或胶粒（其粒径 $0.000001 \sim 0.0001\text{mm}$ ），重力作用很小，能够在水中长期悬浮，不因自重而下沉。这时，黏土矿物颗粒与水的作用产生的粒间作用力就凸显出来。粒间作用力有粒间斥力和粒间吸力，且均随粒间的距离减小而增加，但增长的速率不尽相同。粒间斥力主要是两土粒靠近时，土粒反离子层间孔隙水的渗透压力产生的渗透斥力，该斥力的大小与双电层的厚度有关，随着水溶液的性质改变而发生明显的变化。相距一定距离的两土粒，粒间斥力随着离子浓度、离子价数及温度的增加而减小。粒间吸力主要是指范德华力，随着粒间距离增加很快衰减，这种变化取决于土粒的大小、形状、矿物成分、表面电荷等因素，但与土中水溶液的性质几乎无关。粒间作用力的作用范围从几埃到几百埃，它们中间既有吸力又有斥力，当总的吸力大于斥力时表现为净吸力，反之为净斥力，如图 1-6 所示。

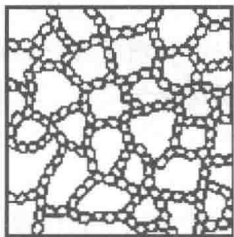


图 1-5 土的蜂窝结构

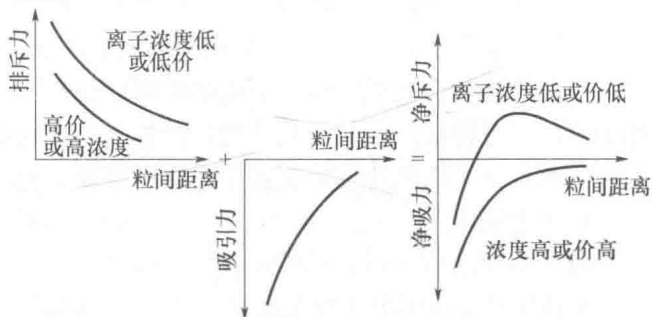


图 1-6 两土粒间的相互作用力

在高含盐量的水中沉积的黏性土，由于离子浓度的增加，反离子层减薄，渗透斥力降低。因此，在粒间较大的净吸力作用下，黏土颗粒容易絮凝成集合体下沉，形成盐液中的絮凝结构，如图 1-7 (a) 所示。混浊的河水流入海中，由于海水的高盐度，很容易絮凝沉积为淤泥。在无盐的溶液中，有时也可能产生絮凝，这一方面是由于某些片状黏土颗粒的（断裂的）边缘上存在局部正电荷的缘故，即当一个黏粒的边（正电荷）与另一黏粒的面（负电荷）接触时，即产生静电吸力。然后另一方面布朗运动（随机运动）的悬浮粒在运动的过程中，可能形成边一面连接，絮凝成集合体，并在重力的作用下下沉，形成无盐溶液中的絮凝结构，如图 1-7 (b) 所示。当土粒间表现为净斥力时，土粒将在分散状态下缓慢沉积，这时土粒是定向（或至少半定向）排列的，片状颗粒在一定程度上平行排列，形成所谓分散型结构，亦称片堆结构，如图 1-7 (c) 所示。

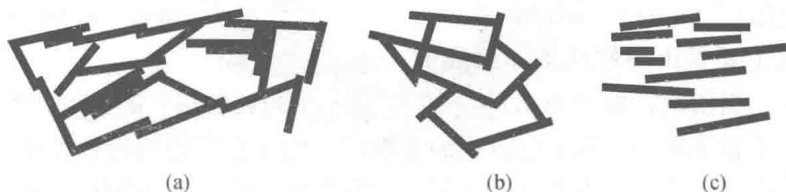


图 1-7 黏土颗粒沉积结构

(a) 盐液中絮凝；(b) 非盐液中絮凝；(c) 分散型