

地基基础设计与施工丛书

岩土工程师培训与注册考试复习用书

高大钊 主编
孙 钧 主审

第2版

天然地基上的 浅基础

高大钊 徐 超 熊启东 编著



机械工业出版社
China Machine Press

地基基础设计与施工丛书

——岩土工程师培训与注册考试复习用书

高大钊 主编

孙 钧 主审

天然地基上的浅基础

第2版

高大钊 徐超 熊启东



机械工业出版社

本书内容包括地基土的工程性质、地基土的分类、建筑工程勘察、地基承载力设计、建筑物沉降验算与控制、浅基础设计、高层建筑箱形基础和筏形基础、浅基础施工以及既有建筑物地基基础的治理与补强等共九章,介绍了基础设计对岩土工程勘察的技术要求、岩土工程勘察技术的进展和勘察成果的利用,阐述了地基设计的基本原理和基础设计方法及其最新进展,讨论了浅基础施工技术的现状与发展,既有理论的分析又有工程经验的总结,是一本集浅基础勘察、设计、施工与事故治理于一体的技术专著。本书可供从事建筑工程、岩土工程勘察、设计、施工与监理工作的技术人员参考,也可作为岩土工程师培训与注册考试复习用书以及土木工程专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

天然地基上的浅基础/高大钊等编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社,
1999.10

(地基基础设计与施工丛书/高大钊主编)

ISBN 7-111-07500-5

I. 天... II. 高... III. 浅基础-地基处理... IV. TU471.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 43582 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘彩英

封面设计: 姚 毅 责任印制: 付方敏

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16.5 印张·402 千字

4 001—8 000 册

定价: 27.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

序

地基基础的设计与施工是一门实用性很强的工程技术学科，对于提高工程质量与降低工程造价关系极大。近 20 年来，随着我国城市建设的发展，大量高层建筑和高等级道路以及一些城市地下铁道的兴建，地基基础工程技术队伍不断扩大，有力地促进了地基设计、桩基技术、地基处理、基坑工程和地基基础测试技术等领域的技术进步，出现了许多新的设计计算方法和新的施工技术，形成了新的技术热点，获得不少的技术成果，亟需加以归纳总结和提高，以适应进一步发展的要求。

同济大学地基基础教研室是我国建制较早的地基基础教学与研究单位，在我国土力学前辈俞调梅、张问清和郑大同教授等的开拓下已形成了一支有特色的学术队伍，参与了许多重大建设工程项目和一系列地基基础技术规范的编制工作，积累了比较丰富的工程经验。这套丛书的作者大多是几十年来长期从事地基基础教学科研工作的教授，在丛中反映了他们的学术见解和工程经验。是一套融设计方法与施工技术于一体，既有基本原理阐述又有技术进展的综合、全面系统的技术专著。本书的问世，相信对广大土木工程、岩土工程工作者都会有所助益，故乐意为之作序。

孙 钧

同济大学岩土工程研究所

1999 年 2 月

孙钧教授系中国科学院院士，国际岩石力学与工程学会副主席，同济大学校务委员、岩土工程系名誉系主任。

《地基基础设计与施工丛书》前言

(第2版)

与劳瑞芬君共同选题与筹划多年的《地基基础设计与施工丛书》1999年春脱稿，于是年秋出版。一年后，此丛书已告售罄，出版社建议重印或修改再版。

《地基基础设计与施工丛书》能获读者垂爱，实乃因工程建设急需地基基础科技知识的普及与提高。编者更应殚智竭力，提供能为读者解惑、明理、助业之科技读物。鉴于丛书筹划时间较早，资料大多取自20世纪90年代中期以前，此后的技术进展颇为迅速，如将原书重印，固甚省力，但总感愧对读者，于心不安。故与丛书作者诸君议决修改再版，以期能尽力反映丛书诸领域的最新成果，经近一年的努力，终能在2002年初与读者见面。

我国已经入世，技术标准与从业资格管理将与国际逐步接轨，注册岩土工程师考试也即将开始。然岩土工程师应具宽广知识面之注册考试要求与我国专业教育面过窄之矛盾极为突出，故应试工程师宜及早拓宽与加深地基基础知识。目前地基基础科技读物固多，然高校教材因受教学要求及篇幅限制，甚少工程实例；学术专著理论深厚，似难以迅速普及；手册内容又过于浩瀚，不适宜考试复习，似尚缺少系统、简明而又实用的技术教育读物。故为注册岩土工程师考试复习尽绵薄之力，亦为本书修改再版时追求的目标之一。

近年，我国诸多规范正在修订改版，名词术语、设计原则颇多更改，然土力学基本原理依然稳定，少有变动。为帮助读者解读规范之要义，丛书对各类方法取兼收并蓄、博采众长的取材原则，使读者不因方法差异而迷惑，对不同规范均能掌握其精髓，以期能根据工作之需正确运用各行业之技术规范。对处于规范修改变化中的技术趋向，丛书也尽力加以阐述，祈使读者能适应设计、施工方法日新月异之变化。

丛书第1版出版时，蒙孙钧院士作序，第2版孙先生又应允主审，对学术著作的撰写出版极尽关爱与支持之情。正值先生主审的《岩土工程的回顾与前瞻》出版不久，丛书第2版又将出版，在孙先生指导下能为岩土工程的学术繁荣添砖加瓦，实乃丛书作者的莫大荣幸。

1999年初孙先生为丛书第1版作序时，论及我国土力学前辈俞调梅教授开拓地基基础学科的贡献。丛书于该年9月出版，然调梅师已于6月作古，未能看到丛书的问世，深为憾事。此次丛书第2版付梓，时值调梅师逝世3周年，谨以此书作为对先师的纪念。

主编 高大钊

2002年2月于同济园

本书前言

(第2版)

在地基基础设计时,最经济的方案是天然地基上的浅基础,这是因为既充分利用了天然地基的承载能力,而且工程量又最少。当然,采用天然地基上的浅基础是有条件的,首先要有比较好的持力层,有足够的承载能力使地基保持稳定,满足地基承载力设计的要求;而建筑物的沉降不致造成结构构件开裂,又能同时满足建筑物的使用要求;当建筑物层数不太多,基础底面压力不大,地质条件又相对比较好的时候,应当尽量采用天然地基上的浅基础,以节省工程造价。

地基基础设计分为地基设计和基础设计两部分,地基设计包括地基承载力计算和地基沉降验算,通过承载力计算以确定基础埋置深度和基础底面尺寸,用沉降验算以控制建筑物的沉降不超过规范规定的允许值。承载力计算和沉降验算所用的地基土工程性质指标和地基土层的层位条件由工程勘察报告提供,荷载由上部结构设计计算的结果确定。基础设计的内容包括基础的选型、构造设计、基础内力计算和钢筋混凝土的配筋。无论是地基设计或基础设计都要考虑场地的工程地质和水文地质条件,同时还要考虑上部结构的特点、建筑物使用上的要求和施工条件等因素。

天然地基是指未经人工处理的天然土层直接作为地基以承受基础传来的上部结构荷载,而浅基础一般是指埋置深度比较浅的基础,但是并没有明确的深度界限。如果从力学分析角度考虑,应当用相对深度来表示,即以埋深与基础宽度的比值来表示,浅基础不考虑基础两侧超载土的抗剪强度。但一般是从施工方法来考虑,浅基础可以用比较简便的、常规的施工方法来修建,而深基础一般都要用比较特殊的施工方法和专门的机械设备来修筑。如果天然地基的承载力或计算沉降不能满足规范的要求,则有两种可供选择的方案:一种是改变基础方案,采用深基础或桩基础将荷载传给深部较好的土层;另一种是采用地基处理的方法加固地基土,而基础仍采用浅基础。关于桩基础和地基处理的设计与施工问题将在丛书的《桩基础的设计方法与施工技术》和《地基加固新技术》这两本书中作专门的讨论。本书介绍的地基和基础设计的方法不仅适用于天然地基上浅基础的设计与施工,其方法也同样适用于地基处理以后的地基承载力的计算和沉降的验算,只是不用天然地基的承载力和变形指标,而是采用地基处理以后的地基承载力以及有关的土层变形指标;至于浅基础结构设计以及施工方法,则完全与本书介绍的方法相同。

根据浅基础设计与施工所涉及的技术问题,本书将从九个方面加以系统的阐述。

在第1章里首先介绍描述土的物理、力学性质指标的基本概念和试验方法,包括土的粒度成分、三相比例指标、状态指标、密实度指标、渗透性指标、压缩性指标和抗剪强度指标等。这些定量的指标可以用于评价土的工程性状,据以考虑基础方案和施工方案;或用以进行各种土力学课题的计算,完成地基设计。这是为了掌握地基基础设计方

法所必需的最基本的知识，也是整个丛书全部内容的基础。

在掌握了土的一系列特征指标的基础上，就可以对土进行分类和定名。确定场地地基土的类别与名称是勘察工作的主要内容之一，也是地基设计的主要依据。关于土分类方法的研究在最近 20 年来有了很大的发展，形成了我国的土分类体系，但还存在一些有待进一步改进的地方，在第 2 章里将系统地介绍土的分类的发展历史，土分类的基本原理，各种土的分类方法以及国内外的土分类体系。

在地基基础设计施工之前，必须进行工程勘察，通过工程勘察可以了解场地的工程水文地质条件，得到地基土的各种物理力学指标，判别场地土的适宜性以及在设计 and 施工中可能出现的问题。没有这些信息，便不可能进行地基基础的设计工作，更谈不上施工。因此，第 3 章作为承上启下的环节，安排了建筑工程勘察的内容。在这套丛书中讨论工程勘察的目的是为了使设计、施工人员了解必要的工程勘察要求、方法和程序，以便使勘察、设计和施工各方面的更好配合，使设计人员在委托勘察时，对勘察工作能提出更为确切的要求，能更好地运用勘察报告所提供的资料做好设计和施工的工作。

第 4 和第 5 两章是地基设计的主要内容，即地基承载力计算和地基变形验算的方法及其基本理论。介绍了地基设计方法发展过程中的三种设计原则，以便读者对于目前正在变革中的设计规范的发展有所了解；关于地基承载力，讨论了地基破坏的不同模式，介绍了测定地基承载力的试验方法，以及界限荷载和极限荷载两种不同性质的承载力理论计算方法，分别给出了基于不同假定的计算公式，可用于容许承载力设计或极限状态设计，还介绍了双层地基的地基承载力的计算方法；关于沉降验算，分别介绍了弹性理论方法，分层总和法和应力面积法等几种实用的方法，以及与沉降计算配套的土中应力的计算方法；在沉降验算与控制这一章里，还着重讨论了如何减少不均匀沉降的技术措施，通过一些实例阐明影响建筑物产生不均匀沉降以及造成建筑物开裂的主要因素，从而提出防止不均匀沉降的若干建筑措施和结构措施；通过如意大利比萨斜塔和我国苏州虎丘塔等各种类型的工程实录，分析了建筑物不均匀沉降所造成的危害，以及在建筑物产生了病害以后如何选择有针对性的治理方案。

第 6 章是浅基础设计的原理与方法，介绍各种类型的浅基础（独立基础、条形基础、十字交叉条形基础）的结构构造特点及其适用条件，从各种类型浅基础传递建筑物荷载的性能出发，分别给出了不同的构造要求、实用的内力计算方法和控制配筋的设计表达式。

第 7 章专门介绍高层建筑箱形基础和筏形基础的设计方法，反映了 20 世纪末我国高层建筑基础工程技术的发展水平。

第 8 章介绍浅基础的施工，从基坑开挖、放坡与支挡、坑内排水、人工降低地下水、钢筋混凝土基础的制作和基础施工安全技术等方面分别介绍了施工技术要求、设备的选择、质量控制等内容。至于深基坑的支护与开挖则是一个比较专门的问题，放在丛书的另一本书《深基坑工程》中去讨论。

第 9 章讨论了既有建筑物地基基础的治理与补强的技术。建国 50 年来，我国建造了大量的建筑物，早期的建筑物已很不适应现代的使用要求，或者已临近设计使用寿命，需要进行加固或改造；有些新建的建筑物，也出现了不少事故，需要加固与修复。在

这些加固、改造和修复的工程中，地基基础的治理和补强是一项非常关键的技术，最近 20 年来得到了很大的发展，已经颁布了技术规范，是一个新的技术领域。

本书是从书中的第一本，本书叙述的内容是地基基础设计施工技术中最基本的部分，也是最常用的技术。整套丛书是一个完整的体系，其它的四本书都可以看成是这本书的发展和延续，书中许多基本的原理对理解其他几本书的内容也都有一定的帮助。作者希望通过这本书向读者展示有关浅基础设计与施工领域的完整的技术体系，从勘察到设计到施工，从理论到参数到计算，无论是从事勘察还是设计还是施工的技术人员，除了懂得自己这部分工作之外，还能多懂一点相关领域的技术，这对于提高自身工作的水平和质量，无疑是有所帮助的。作者根据这一思路完成本书的撰稿，谨以这本书献给读者，愿与读者一起共同探讨，请读者对于本书中的错误之处不吝指正。

本书的第 1 版出版于 1999 年。修订再版时根据技术的发展和读者的需要，新增加了第 7、第 9 两章，对其他的章节也作了较大的订正、修改与补充；对于正在修订中的规范，也从技术发展的高度进行了讨论和分析。

编者于 2002 年初

目 录

序

《地基基础设计与施工丛书》前言 (第2版)

本书前言 (第2版)

第1章 地基土的工程性质	1	1.7.3 动水力及渗透变形	20
1.1 土的组成	1	1.8 土的压缩性	20
1.1.1 土的固相	1	1.8.1 土的压缩系数和压缩模量	21
1.1.2 土的液相	1	1.8.2 土的压密状态	23
1.1.3 土的气相	2	1.8.3 土的变形模量	24
1.2 土的粒度成分	2	1.9 土的抗剪强度	29
1.2.1 土的粒组划分	2	1.9.1 直剪试验和库仑定律	30
1.2.2 粒度成分及其表示方法	3	1.9.2 三轴试验	32
1.2.3 粒度成分分析方法	5	第2章 土的工程分类	40
1.3 土的三相比例指标	7	2.1 概述	40
1.3.1 试验指标	7	2.2 岩石分类	40
1.3.2 换算指标	8	2.2.1 成因分类	40
1.3.3 三相比例指标的换算	9	2.2.2 按岩石坚硬程度分类	41
1.4 砂土的密实度	11	2.2.3 按岩石风化程度分类	42
1.5 粘性土的分界含水量及状态指标	12	2.2.4 岩石按软化系数分类	43
1.5.1 粘性土的状态与界限含水量	12	2.2.5 按岩体结构完整性分类	43
1.5.2 粘性土的塑性指数和液性指数	13	2.2.6 岩石的质量等级分类	44
1.6 粘性土的物理化学性质	14	2.3 土的分类	44
1.6.1 粘土颗粒的矿物成分、形状和比表面	14	2.3.1 碎石土的分类	45
1.6.2 粘性土的胶体性质	15	2.3.2 砂土的分类	46
1.6.3 粘性土胶体性质对工程性质的影响	17	2.3.3 关于粗粒土分类的讨论	47
1.6.4 在工程实践中的应用	17	2.3.4 细粒土的分类	49
1.7 土的渗透性	18	2.4 土的密实度分类	55
1.7.1 土的层流渗透定律	18	2.4.1 碎石土的密实度分类	55
1.7.2 影响土的渗透性的因素	19	2.4.2 砂土的密实度分类	56
		2.5 土的简易鉴别和描述	56
		2.5.1 碎石土密实度野外鉴别	56
		2.5.2 砂土的野外鉴别	56
		2.5.3 粘性土和粉土的野外鉴别	57

2.6 特殊性土的分类	57	4.2 设计原则	93
2.6.1 我国特殊性土的类型及其分布	58	4.2.1 容许承载力设计原则	93
2.6.2 软土	58	4.2.2 总安全系数设计原则	94
2.6.3 黄土的分类	59	4.2.3 概率极限状态设计原则	95
2.6.4 红粘土的分类	61	4.3 由载荷试验确定地基承载力	95
2.6.5 膨胀土的分类	62	4.3.1 地基破坏模式	95
2.6.6 盐渍土的分类	64	4.3.2 根据载荷试验的结果确定承载力的方法	97
第3章 建筑工程勘察	66	4.3.3 其他试验方法确定地基承载力	100
3.1 概述	66	4.4 理论公式确定地基容许承载力	101
3.2 工程勘察分级	66	4.4.1 临界荷载公式	101
3.2.1 工程安全等级	67	4.4.2 经验修正	103
3.2.2 场地等级	67	4.5 经验方法确定地基容许承载力	103
3.2.3 地基等级	67	4.5.1 间接原位测试的方法	104
3.2.4 工程勘察等级的综合划分	68	4.5.2 规范推荐的地基承载力表	105
3.2.5 修改后的岩土工程勘察分级方法	68	4.6 地基极限承载力计算公式	108
3.3 工程勘察要求	69	4.6.1 普朗特特地基极限承载力公式	108
3.3.1 工程勘察的依据	69	4.6.2 斯凯普顿地基极限承载力公式	111
3.3.2 不同勘察阶段的主要工作内容	69	4.6.3 太沙基地基极限承载力公式	112
3.3.3 勘探点的布置要求	71	4.6.4 考虑其他因素影响时的极限承载力计算公式	114
3.3.4 勘探孔的深度	72	4.7 地基极限承载力计算公式的试验校核	116
3.3.5 取样和测试工作量	74	4.8 双层地基的承载力	118
3.4 勘察工作纲要	74	4.8.1 软弱下卧层强度的验算	118
3.5 工程地质测绘与调查	75	4.8.2 软弱下卧层对地基承载力的影响	119
3.6 现场勘探与测试	76	4.8.3 上海规范关于层状土地基承载力的计算	121
3.6.1 钻探方法	76	第5章 建筑物变形验算与控制	125
3.6.2 岩土取样	78	5.1 概述	125
3.6.3 原位测试	80	5.2 建筑物变形的特征	125
3.7 室内土工试验	89	5.2.1 沉降量	125
3.8 工程勘察成果报告	90		
3.8.1 勘察报告的基本内容	90		
3.8.2 图件编制的要求	90		
3.8.3 工程勘察报告的利用	91		
第4章 地基承载力设计	93		
4.1 概述	93		

5.2.2	沉降差	126	6.5.3	地基反力计算	174
5.2.3	倾斜	126	6.5.4	基础结构内力计算	175
5.2.4	局部倾斜	126	6.6	高耸结构物的基础设计	178
5.3	建筑物地基变形的允许值	126	6.6.1	高耸结构物基础平面形状 的特点	178
5.4	建筑物地基变形计算	129	6.6.2	基础与地基土之间是否 允许脱开的问题	178
5.4.1	概述	129	6.6.3	基础的抗拔稳定性	178
5.4.2	土中应力的计算	129			
5.4.3	沉降计算	136			
5.5	减少建筑物沉降及降低其危害性 的措施	147	第 7 章 高层建筑箱形基础与筏形基础 设计	185	
5.5.1	建筑措施	147	7.1	概述	185
5.5.2	结构措施	152	7.2	工程勘察与地基计算	187
5.6	建筑物变形的危害及其防治	153	7.2.1	工程勘察	187
5.6.1	建筑物沉降观测	154	7.2.2	基础的埋置深度	188
5.6.2	建筑物变形危害	155	7.2.3	地基承载力的计算	189
			7.2.4	沉降计算	190
第 6 章 浅基础设计	162		7.3	箱形、筏形基础的结构设计 与构造的基本要求	194
6.1	浅基础的类型及适用条件	162	7.3.1	平面布置	194
6.2	浅基础设计步骤	166	7.3.2	上部结构嵌固部位的 确定原则	195
6.2.1	基础方案的比较与选择	166	7.3.3	嵌固部位的验算要求	196
6.2.2	基础埋置深度的确定	167	7.4	筏形基础设计	196
6.2.3	确定基础平面尺寸, 验算地基承载力	167	7.4.1	筏形基础构造要求	196
6.2.4	沉降验算	168	7.4.2	筏板基础内力计算	197
6.2.5	基础的构造与设计计算	168	7.4.3	筏板基础强度验算	198
6.3	刚性基础设计	168	7.5	箱形基础设计	201
6.4	钢筋混凝土独立基础设计	169	7.5.1	箱形基础构造要求	201
6.4.1	柱下钢筋混凝土独立 基础的一般构造	169	7.5.2	箱形基础内力计算	202
6.4.2	确定基础底面积	169	7.5.3	箱形基础结构的强度验算	207
6.4.3	钢筋混凝土独立基础的 抗冲切验算	170	第 8 章 浅基础施工	210	
6.4.4	柱下钢筋混凝土独立 基础的抗弯验算	172	8.1	概述	210
6.5	墙下条形基础和柱下条形基础 设计	173	8.2	基坑开挖、放坡及支挡	210
6.5.1	基础宽度的确定	174	8.2.1	基坑开挖	210
6.5.2	基础构造要求	174	8.2.2	基坑边坡	213
			8.3	坑内排水	215
			8.3.1	坑内排水的一般规定	215

8.3.2	涌水量的计算	215
8.3.3	水泵的选用	217
8.4	人工降低地下水位	219
8.4.1	轻型井点	220
8.4.2	喷射井点	224
8.4.3	电渗井点	225
8.4.4	管井井点	225
8.4.5	深井井点	226
8.5	钢筋混凝土基础的制作	226
8.5.1	柱基础浇筑	226
8.5.2	条形基础浇筑	227
8.5.3	大体积混凝土浇筑	227
8.6	基础施工技术安全	228
8.6.1	基坑开挖技术安全	228

8.6.2	基础施工技术安全	229
第 9 章	既有建筑物地基基础的治理与补强	230
9.1	建筑物纠倾	230
9.1.1	迫降纠倾	231
9.1.2	顶升纠倾	236
9.2	建筑物移位	241
9.2.1	移位设计	242
9.2.2	移位的施工	243
9.3	地基基础的加固补强	243
9.3.1	地基的加固补强	243
9.3.2	基础的加固补强	246
参考文献		249

第 1 章 地基土的工程性质

1.1 土的组成

自然界的土是由岩石经风化、搬运、堆积而成的，风化成土的岩石称为母岩，母岩成分、风化性质、搬运过程和堆积的环境是决定土的组成的主要因素，而土的组成又是决定地基土工程性质的物质基础。土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的，通常称为土的三相组成，三相物质的质量和体积的比例不同，土的性质也就不同。因此，首要的问题是要了解土是由什么物质组成的。

1.1.1 土的固相

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质，它们组成了土的骨架。土中的矿物成分可以分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是指岩浆在冷凝过程中形成的矿物，如石英、长石、云母等。

次生矿物是由原生矿物经过风化作用后形成的新矿物，如三氧化二铝、三氧化铁、次生二氧化硅、粘土矿物以及碳酸盐等。次生矿物按其在水中的溶解程度可分为易溶的、难溶的和不可溶的，次生矿物的水溶性对土的性质有极其重要的影响。粘土矿物的主要代表性矿物为高岭石、伊利石和蒙脱石，由于其亲水性不同，当其含量不同时土就显示出不同的工程性质。

在以物理风化为主的过程中，岩石破碎而并不改变其成分，岩石中的原生矿物得以保存下来。但在化学风化的过程中，易风化的矿物如长石、云母等就分解成为次生的粘土矿物、石英等难风化的矿物得以保存下来。粘土矿物是很细小的扁平颗粒，表面具有极强的和水相互作用的能力。颗粒愈细，表面积愈大，这种亲水的能力就愈强，对土的工程性质的影响也就愈大。

风化过程中，在微生物作用下，土中产生复杂的腐殖质矿物，此外还会有动植物残体等有机物，如泥炭等。有机颗粒紧紧地吸附在矿物颗粒的表面形成了颗粒间的连接，但是这种连接的稳定性较差。

从外表上看到的土的颜色，在很大程度上反映了土的固相的不同成分和不同含量。红色、黄色和棕色一般表示土中含有较多的三氧化二铁，并说明氧化程度较高。黑色表示土中含有较多的有机质或锰的化合物。灰蓝色和灰绿色的土一般含有亚铁化合物，是在缺氧条件下形成的。白色或灰白色则表示土中有机质较少，主要含石英或含高岭土等粘土矿物。当然，湿度会影响土的颜色深浅，风干的土颜色比较浅，但是一般描述的是土在潮湿状态的颜色。

1.1.2 土的液相

土的液相是指土孔隙中存在的水。通常认为水是中性的，在零度时冻结，但实际上

土中水是成分十分复杂的电解质水溶液，它和亲水性的矿物颗粒表面有着复杂的物理化学作用。按照水与土相互作用程度的强弱，可将土中水分为结合水和自由水两大类。

结合水是指土颗粒表面水膜中的水，受到表面引力的控制而不服从静水力学规律，冰点低于零度。结合水又可分为强结合水和弱结合水。强结合水在最靠近土颗粒表面处，水分子和水化离子排列得非常紧密，以致其密度大于 1g/cm^3 ，并有过冷现象，即温度降到冻结点以下不发生冻结的现象。在距土粒表面较远的地方，由于引力降低，水分子的排列不如强结合水紧密，水分子可能在渗附压力差作用下从较厚水膜或浓度较低处缓慢地迁移到较薄的水膜或浓度较高处，亦即可从一个土粒迁移到另一个土粒，这种运动与重力无关，这层不能传递静水压力的水称为弱结合水。

自由水包括毛细水和重力水。毛细水不仅受到重力的作用，还受到表面张力的支配，能沿着土的细孔隙从潜水面上升到一定的高度。这种毛细上升现象是公路路基冻胀翻浆及建筑物返潮的主要原因。重力水在重力或压力差作用下能在土中渗流，对于土颗粒和结构物都有浮力作用，当水头差较大时，在渗流出露处发生渗透破坏。在土力学计算中应当考虑这种渗流及浮力的作用力，在工程施工时充分注意水的影响。

1.1.3 土的气相

土的气相是指充填在土的孔隙中的气体，包括与大气连通和不连通的两类。

与大气连通的气体对土的工程性质没有多大的影响，它的成分与空气相似，当土受到外力作用时，这种气体很快从孔隙中挤出，但是密闭的气体对土的工程性质有很大的影响。密闭气体的成分可能是空气、水汽或天然气。在压力作用下这种气体可被压缩或溶解于水中，而当压力减小时，气泡会恢复原状或重新游离出来。含气体的土称为非饱和土，非饱和土的工程性质比较复杂，非饱和土力学已成为土力学的一个新分支。在一般土力学中通常研究饱和土的物理力学性质及其计算，常忽略气体的影响。

1.2 土的粒度成分

天然土是由大小不同的颗粒组成的，土粒的大小称为粒度，土颗粒的大小相差悬殊，从大于几十厘米的漂石到小于几微米的胶粒。由于土粒的形状往往是不规则的，很难直接测量土粒的大小，只能用间接的方法来定量土粒的大小及各种颗粒的相对含量。常用的方法有两种，对粒径大于 0.075mm 的土粒常用筛分析的方法，而对小于 0.075mm 的土粒则用沉降分析的方法。工程上常用不同粒径颗粒的相对含量来描述土的颗粒组成情况，这种指标称为粒度成分。

1.2.1 土的粒组划分

天然土的粒径一般是连续变化的，为了描述的方便，工程上常把大小相近的土粒合并为组，称为粒组。粒组间的分界线是人为划定的，划分时应使粒组界限与粒组性质的变化相适应，并按一定的比例递减关系划分粒组的界限值。

对粒组的划分，各个国家，甚至一个国家的各个部门有不同的规定。我国习惯采用

的粒组划分标准见表 1-1。

表 1-1 我国习惯采用的粒组划分标准

粒 组 名 称	粒组范围 / mm
漂石（块石）粒组	>200
卵石（碎石）粒组	20~200
砾石粒组	2~20
砂粒粒组	0.075~2
粉粒粒组	0.005~0.075
粘粒粒组	<0.005

过去的粒组划分标准中，砂粒与粉粒的划分界限是 0.05mm，这一粒径需要用沉降分析方法测定，试验不太方便。从 20 世纪 70 年代末到 80 年代末这 10 年中，我国的粒组划分标准出现了一些变化。《建筑地基基础设计规范》（GBJ 7—1989）和《岩土工程勘察规范》（GB 50021—1994）在修订和编制过程中经过充分论证，将砂粒粒组与粉粒粒组之间的界限从 0.05mm 改为 0.075mm。这一粒径和欧美国家的 200 号筛是一致的，便于与国际上的交流，同时我国也已生产筛孔直径为 0.075mm 的筛，可以用筛分法测定，比沉降分析方法方便。《土的工程分类标准》（GBJ 145—1990）在砂粒粒组与粉粒粒组的界限上取与上述规范相同的标准，但将卵石粒组与砾石粒组界限改为 60mm，其粒组划分标准见表 1-2，但这一修改并没有得到国内建筑工程界广泛的认同。

表 1-2 粒组划分（GBJ 145—1990）

粒 组 统 称	粒 组 名 称	粒组范围 / mm
巨粒	漂石（块石）粒组	>200
	卵石（碎石）粒组	200~60
粗粒	砾粒 粗砾	60~20
	细砾	20~2
	砂粒	2~0.075
细粒	粉粒	0.075~0.005
	粘粒	<0.005

1.2.2 粒度成分及其表示方法

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），用以描述土中不同粒径土粒含量的分布，常用的表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法。

1.2.2.1 表格法

表格法是以列表形式直接表达各粒组的相对含量的方法。它用于粒度成分的分类是十分方便的，例如表 1-3 给出了 3 种土样的粒度成分，根据第 2 章的方法可以进行土的分类和定名。

表 1-3 粒度成分分析结果（质量分数）（%）

粒组 / mm	土样 A	土样 B	土样 C
10~5	—	25.0	—
5~2	3.1	20.0	—
2~1	6.0	12.3	—
1~0.5	16.4	8.0	—
0.5~0.25	41.5	6.2	—
0.25~0.10	26.0	4.9	8.0
0.10~0.075	9.0	4.6	14.4
0.075~0.01	—	8.1	37.6
0.01~0.005	—	4.2	11.1
0.005~0.001	—	5.2	18.9
<0.001	—	1.5	10.0

1.2.2.2 累计曲线法

累计曲线法是一种图示的方法，通常用半对数纸绘制，横坐标（按对数比例尺）表示某一粒径，纵坐标表示小于某一粒径的土粒的质量分数。表 1-3 中的三种土的粒度成分累计曲线示于图 1-1，三种土的粒度成分不同，累计曲线的形态不同。为了定量地描述累计曲线，需要引入能反映曲线特征的指标。

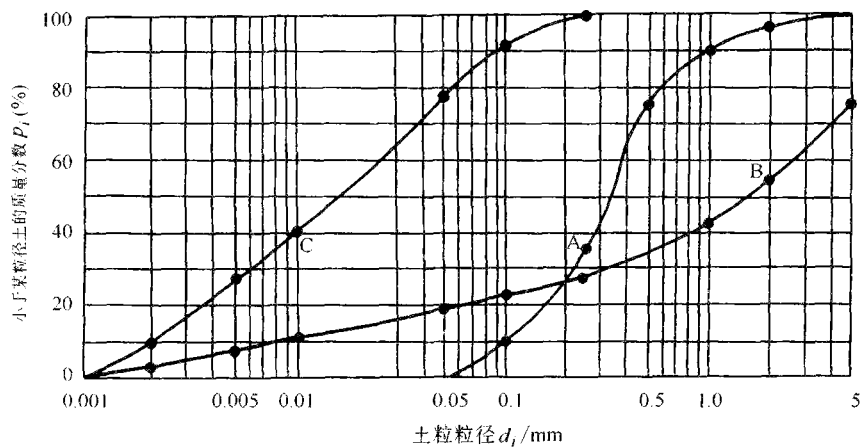


图 1-1 土的粒度成分累计曲线

在累计曲线上，可确定两个描述土的级配的指标不均匀系数和曲率系数：
不均匀系数

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

(1-1)

曲率系数

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

式中 d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} —— 相当于累计质量分数为 10%、30%和 60%的粒径， d_{10} 称为有效粒径； d_{60} 称为限制粒径。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况， C_u 越大，表示粒组分布范围比较广，土的级配良好。但如 C_u 过大，表示可能缺失中间粒径，属不连续级配，故需同时用曲率系数来评价。曲率系数则是描述累计曲线整体形状的指标。

1.2.2.3 三角坐标法

三角坐标法也是一种图示法，它利用等边三角形内任意一点至三个边的垂直距离的总和恒等于三角形之高的原理，以表示组成土的三个粒组的相对含量。三角坐标法只适用于划分为三个粒组的情况。例如当把粘性土划分为砂土、粉土和粘土粒组时，就可以用三角坐标图来表示。

上述三种方法各有其特点和适用条件。表格法能很清楚地用数量说明土样的各粒组含量，但对于大量土样之间的比较就显得过于冗长，且无直观概念，使用比较困难。

累计曲线法能用一条曲线表示一种土的粒度成分，而且可以在一张图上同时表示多种土的粒度成分，能直观地比较其级配状况。

三角坐标法能用一点表示一种土的粒度成分，在一张图上能同时表示许多种土的粒度成分，便于进行土料的级配设计；还可以用于表示土按粒度成分的分类方法，不同的区域粒度成分不同，土类别也不相同。

在工程上可根据使用的要求选用适合的表示方法，也可以在不同的场合选用不同的方法。

1.2.3 粒度成分分析方法

粒度成分的分析方法分为筛分法和沉降分析法，粗粒土应采用筛分法，而细粒土则必须用沉降分析法。

1.2.3.1 筛分法

筛分法是用一套不同孔径的标准筛把各种粒组分离出来，这和建筑材料的粒径级配筛分试验是一样的。但很细的粒组却无法用筛分法分离出来，这是因为很细的土粒互相连结在一起的缘故。按我国原有的标准，最小孔径的筛是 0.1mm，但是新的筛孔标准已改为 0.075mm，这相当于美国 ASTM 标准的 200 号筛（即在 1in² 面积上有 200 个孔）。这是在国际上比较通用的标准，因此我国采用了这一标准，已按新的标准生产了孔径为 0.075mm 的筛。在采用最小孔径的筛作筛分试验时应当采用水筛的方法，用水冲方法把联结在一起的细颗粒分开，才能正确地测定细颗粒的含量。

1.2.3.2 沉降分析法

根据土粒在悬液中沉降的速度与粒径的平方成正比的关系来确定各粒组相对含量的方法称为沉降分析法。