

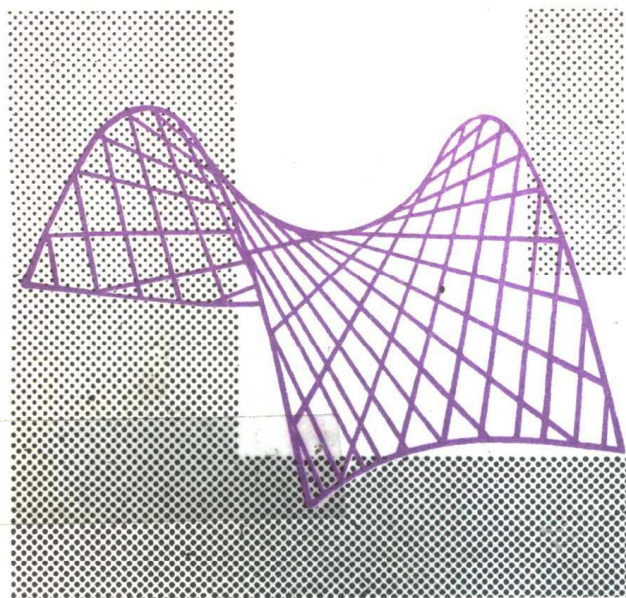
高等学校建筑工程专业系列教材

土力学与 基础工程

995138

同济大学 高大钊 主编

● 中国建筑工业出版社



995138

高等学校建筑工程专业系列教材

土力学与基础工程

同济大学 高大钊 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与基础工程/高大钊主编. -北京: 中国建筑工业出版社, 1999

高等学校建筑工程专业系列教材

ISBN7-112-03539-2

I. 土… II. 高… 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 (98) 第 12553 号

本书内容包括土的物理性质及其工程分类、土中水的运动规律、土中应力分布及计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力、天然地基基础设计、地基上梁和板的分析、桩基础、特殊性土地基、地基处理、支挡结构、动力机器基础和地基基础抗震设计等共十六章, 并安排了大量的例题、习题和思考题。本书可作为高等学校教材, 供土木工程专业基础课教学之用, 也适用于原专业目录中的建筑工程、桥梁工程、道路工程、地下建筑工程及岩土工程专业。还可供从事土木工程勘察、设计和施工的技术人员参考。

高等学校建筑工程专业系列教材

土力学与基础工程

同济大学 高大钊 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

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 30 $\frac{3}{4}$ 字数: 744 千字

1998 年 9 月第一版 1998 年 9 月第一次印刷

印数: 1—3400 册 定价: 31.00 元

ISBN7-112-03539-2

TU·2730 (8779)

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

为繁荣教育事业，推进教材建设，由同济大学土力学基础工程学科的部分教师编写了建筑工程专业用的教材《土力学与基础工程》，以供各校选用。本教材的编写历经一年多时间，几经反复修改，终于脱稿付印。

在编写本书的过程中，考虑到高校扩大专业面的改革正在逐步深入，为了适应今后改革方向的土木工程专业教学需要，本书编写时以建筑工程为主，兼顾道路、桥梁等专业的要求选择教材内容，为此加强了土压力与土坡稳定分析的份量；增加了流网、土的胶体性质、高桩承台和沉井等内容。各高校教师可根据自身专业特点选用有关章节。

考虑到本书出版时将正值世纪更迭之际，本教材既要保持内容的经典性；又要及时反映技术的进步，在选材时尽可能吸收经过工程实践考验、符合技术进步而又适合于教学的内容，在不增加过多篇幅的前提下予以更新。例如关于深基坑支挡结构设计、分项系数设计表达式、桩的沉降计算的方法等，使教材能适应下一世纪初技术的发展与进步。

本书的编写原则是：基本原理和方法的选用以工程实用为主，并兼顾发展和反映国内外的先进技术水平；理论部分的阐明要求深入浅出，讲清基本假定与概念，不拘于推导过程；应用部分的编写结合现行规范的规定，但避免写成规范的说明书，尽量以共性的内容为主，不拘于一本规范的特殊内容，兼收并蓄，以使學生能灵活使用不同行业规范的要求，有利于培养学生适应实践的能力；内容与次序的安排要有利于自学，并编入一定数量的例题、习题与思考题以供学生练习；文字的表达力求简明扼要。

本书由高大钊主编，叶书麟主审。

参加本书编写的共有十位教师，编写分工如下：

高大钊——绪论、第一章；

李镜培——第二章；

董建国——第三章、第九章、第十章；

陈光敬——第四章；

袁聚云——第五章；

杨 敏——第六章、第十四章；

楼晓明——第七章、第八章；

宰金璋——第十一章；

胡中雄——第十二章、第十三章；

王天龙——第十五章、第十六章；

本书是同济大学土力学基础工程学科教师的集体创作，凝聚着俞调梅、张问清教授等前辈长期在教学园地耕耘的成果，在策划和组织编写本书的过程中，得到了杨林德、赵锡

宏、朱百里和洪毓康等教授的关心和帮助，本书引用了校内外许多专家、学者在教学、科研、设计和施工中积累的资料，由于篇幅所限，文献目录不能一一列出，在此一并表示诚挚的谢意。

由于水平和能力的限制，本书中定有许多不当之处，恳请读者不吝指正。

目 录

绪论	1
第一章 土的物理性质及其工程分类	5
第一节 土的三相组成	5
第二节 土的三相比例指标	10
第三节 土的结构	13
第四节 粘性土的界限含水量	14
第五节 砂土的密实度	16
第六节 粘性土的物理化学性质	17
第七节 土的工程分类	21
习题	24
思考题	24
第二章 土中水的运动规律	26
第一节 概述	26
第二节 渗透理论	27
第三节 流网及其工程应用	31
第四节 土中渗流的作用力及渗透变形	36
习题	40
思考题	41
第三章 土中应力分布及计算	42
第一节 概述	42
第二节 土的自重应力计算	43
第三节 基础底面压力分布和计算	46
第四节 集中力作用下土中应力计算	48
第五节 分布荷载作用时的土中应力计算	52
习题	67
思考题	69
第四章 土的压缩性与地基沉降计算	70
第一节 概述	70
第二节 研究土压缩性的试验及指标	70
第三节 地基沉降实用计算方法	79
第四节 饱和粘性土地基沉降与时间的关系	92
习题	102
思考题	104
第五章 土的抗剪强度	105
第一节 概述	105
第二节 土的强度理论与强度指标	105

第三节	土的抗剪强度指标的试验方法及其应用	108
第四节	关于土的抗剪强度影响因素的讨论	122
	习题	124
	思考题	125
第六章	土压力计算	126
第一节	概述	126
第二节	静止土压力计算	127
第三节	朗肯土压力理论	129
第四节	库仑土压力理论	135
	习题	142
	思考题	142
第七章	土坡稳定分析	144
第一节	概述	144
第二节	砂性土土坡的稳定分析	145
第三节	粘性土土坡的整体稳定分析	145
第四节	粘性土土坡稳定分析的条分法	150
第五节	土坡稳定分析的几个问题	156
	习题	158
	思考题	160
第八章	地基承载力	161
第一节	概述	161
第二节	临塑荷载和临界荷载	163
第三节	极限承载力计算	166
	习题	177
	思考题	178
第九章	天然地基基础设计	179
第一节	概述	179
第二节	浅基础的类型	180
第三节	地基基础设计原则	184
第四节	基础埋置深度	189
第五节	地基承载力和变形验算	193
第六节	地基基础和上部结构共同作用的概念	209
第七节	独立基础结构设计	210
第八节	钢筋混凝土梁、板基础的简化计算方法	216
第九节	减轻不均匀沉降危害的措施	225
第十节	沉井基础	230
	习题	238
	思考题	240
第十章	地基上梁和板的分析	241
第一节	概述	241
第二节	弹性地基模型	241
第三节	文克勒地基上梁的计算	245

第四节	地基梁板的数值分析法	256
第五节	绝对刚性基础板的地基反力、沉降和倾斜计算	270
习题	.....	272
思考题	.....	272
第十一章	桩基础	273
第一节	概述	273
第二节	桩的类型及施工工艺	274
第三节	单桩在竖向荷载下的性状与计算	279
第四节	桩基在水平荷载下的性状与计算	290
第五节	桩基础的设计	310
习题	.....	325
思考题	.....	328
第十二章	特殊性土地基	330
第一节	概述	330
第二节	黄土地基	332
第三节	红粘土地基	340
第四节	膨胀土地基	344
第五节	盐渍土地基	349
第六节	冻土地基	353
思考题	.....	358
第十三章	地基处理	359
第一节	概述	359
第二节	预压排水固结原理	361
第三节	密实法原理	368
第四节	换垫法原理	373
第五节	土的胶结法原理	376
第六节	锚固与加筋原理	381
思考题	.....	384
第十四章	支挡结构	385
第一节	概述	385
第二节	刚性挡土墙	386
第三节	柔性支挡结构	398
第四节	基坑支挡结构设计中的若干问题	409
习题	.....	414
思考题	.....	415
第十五章	动力机器基础	416
第一节	概述	416
第二节	基础-地基系统振动计算理论	421
第三节	锻锤基础设计	430
第四节	活塞式压缩机基础设计	436
第五节	旋转式机器基础设计	441
第六节	减振与隔振	445

习题	451
思考题	451
第十六章 地基基础抗震设计	452
第一节 地震、场地和地基	452
第二节 土体液化的预测和防治措施	460
第三节 地基基础抗震概念设计和抗震验算	471
习题	480
思考题	480
参考文献	481

绪 论

一、土力学与基础工程的研究对象

任何建筑物都是建造在地球上的，建筑物的全部荷载都由地球的表面地层来承担，这里所说的建筑物不仅指一般的住宅、办公楼和厂房等，而且泛指桥梁、码头、水电站、高速公路等工程结构物，还包括穿越土层的隧道或地下铁道等地下结构物，以及用土作为材料建造的大坝或路堤等土工构筑物，承受这些建筑物荷载的地层称为地基，与地基接触并传递荷载给地基的结构物称为基础。广义地说，基础工程这一学科领域不仅将土作为地基来研究，还包括了将土作为工程结构物的环境介质以及作为土工构筑物材料在内的工程问题，亦即几乎包括了人类所有的工程活动赖以存在的全部与土有关的工程技术问题。

地基与基础的勘察、设计与施工是工程建设的关键性阶段，整个工程的成败在很大程度上取决于基础工程的质量与水平；地基基础又是隐蔽工程，施工条件极为复杂，影响工程质量的因素很多，稍有不慎轻则留下隐患，重则造成事故；基础工程的造价占工程造价的很大比例，在地质条件复杂地区，可高达20%~30%，节约建设资金的潜力很大，如果盲目提高安全度，有时多花费建设资金却仍不能收到良好的效果。因此，具有丰富工程经验的工程技术人员都十分重视地基与基础的勘察、设计与施工阶段的工作；要求从事土木、水利工程技术人员必须掌握土力学基础工程的理论知识和实际技能，才能正确地解决工程中的地基基础技术问题。

正确解决工程中的地基基础问题，其根本目的在于保证工程的质量，使工程结构物能安全、正常地使用。“万丈高楼从地起”，基础的质量是整个建筑物安全的根本所在。基础工程的质量包括在建筑物荷载作用下地基应当是足够稳定的；地基的沉降对于结构物的变形和建筑物的正常使用是可以允许的；在各种不利因素的影响下基础的耐久性可靠的；所使用的施工工艺和施工方法适合场地的工程地质条件、符合工程特点的要求，并且有利于实现上述有关地基稳定、沉降和耐久性要求。这是地基基础设计与施工的目标，也是这门学科研究的主要内容。

二、土力学与基础工程课程学习的内容

土力学与基础工程是土木、水利专业的一门重要的技术基础课。它由两个重要的部分组成，一部分是关于地基基础设计与施工的知识，即基础工程学的内容；另一部分是有关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的知识，即解决土力学各种课题的基本理论和试验研究方法。前者具有极强的技术性与应用性，后者则为前者提供解决工程问题的试验方法和理论基础。因此，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。

土力学是一门研究与土的工程问题有关的学科，它既是工程力学的一个分支学科，又是土木工程学科的一部分。土是由不同成因的岩石在风化作用（物理风化、化学风化和生物风化）后经重力、流水、冰川和风力等营力搬运、沉积而成的自然历史产物。土的工程性质与母岩的成分、风化的性质以及搬运沉积的环境条件有着密切的关系，研究土的工程问题不能不以工程地质学为基础，从宏观的、历史的角度分析土的各种特殊工程性质的形成机理及其变化的规律。土是一种特殊的变形体材料，它既服从连续介质力学的一般规律，又有其特殊的应力-应变关系和特殊的强度、变形规律，形成了土力学不同于一般固体力学的分析方法和计算方法。所以在学习本课程以前必须具备工程地质学、材料力学的知识，在此基础上进一步学习土的工程性质指标的试验研究方法，地基变形的计算方法、地基强度稳定性分析的方法和土体渗流计算方法，这些理论与方法是地基基础设计与施工技术的基本原理，也是学习基础工程学的必备知识。

基础工程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，各种类型上部结构的地基基础问题具有很大的专业特点。例如，在建筑工程中的桩基础承台埋于土中，称为低桩承台；而在码头、桥梁工程中的桩基承台可能在地面以上，称为高桩承台，这两种承台的设计方法不同。但是，地基基础又有它不同于上部结构的许多特点，学习基础工程课程主要学习其特殊的设计理论和方法，特别是涉及地基的设计与计算、结构物与土的相互作用分析、地基处理设计与施工。各个行业的地基基础问题又有许多共性，都必须重视土的工程性质的特殊性、重视地质条件的影响、重视设计参数的试验与确定、重视工程经验与地方经验、重视工程实录和观测资料的积累与利用。掌握了地基基础设计和施工的基本方法就可以结合各个专业的要求，因地制宜地具体应用，解决各个特殊的基础工程问题。

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试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。

土的工程性质指标包括物理性质指标和力学性质指标两类。物理指标是指用于定量描述土的组成、土的干湿、疏密与软硬程度的指标；力学性质指标主要是用于定量描述土的变形规律、强度规律和渗透规律的指标。测定这些指标的试验方法包括室内试验和原位测试两类，它们各有其特点和适用条件。学习土力学的理论知识的同时必须重视学习与掌握这些指标的试验测定方法，了解这些指标的适用条件。因此对主要的试验指标，在理论教学的过程中还要安排实验教学，学习土工试验的操作与数据整理方法。

土力学的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、土压力计算和土坡稳定分析等，这些都是运用流体力学、弹性理论和塑性理论的基本原理研究土这种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。

基础工程的设计与施工包括：天然地基上浅基础的地基承载力计算和地基变形计算、基础底面反力分布与基础结构内力计算、基础的构造与配筋等；深基础和桩基础的设计原理与施工要点；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、红粘土、膨胀土、盐渍土和冻土）的判别与设计计算以及各种地基处理方法（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。

工程设计与施工都必须执行法定的规范标准。规范根据土力学和基础工程的基本原理总结了工程实践的成功经验与失败教训，对设计内容、施工方法和质量检验标准作出了各种规定，作为设计和施工必须遵循的准则。在本课程中将要学习如何根据工程实际情况使用规范条文的方法；但各种不同行业的地基基础问题都有不同的专门规范，例如《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024-85)、《港口工程地基规范》(JTJ219-87)、《港口工程桩基规范》(JTJ222-87)；或者在有关结构工程的规范中包含了地基基础的内容，例如《铁路桥涵设计规范》(TBJ2-85)、《公路路基设计规范》(JTJ013-86)等规范。同时，随着工程技术的进步，规范也在不断修编完善，各种具体的规定也随之而变化。因此在学习本课程的过程中不可能也不必要掌握所有的规范内容，只要掌握了土力学和基础工程的基本原理，了解主要规范的基本精神，懂得了使用规范的方法，就能在今后的工程实践中正确地使用规范，适应规范标准的发展。

三、本书编写的特点

土力学与基础工程教学用书的编写既不同于专著，也不同于工具书，但也不同于过去的统编教材，在内容的选择和叙述方式上应当有其特点。

我国过去学校的专业设置分工过细，使学生知识面太窄，不利于学生以后的发展，更不适应市场经济发展的要求，因此近几年来，调整专业目录的工作正在逐步实施。合并专业以后，学生的专业面拓宽了，土木工程专业的学生毕业以后应当比过去更能适应各个行业技术工作的需要，这就要求教学内容和教材作相应的调整，作为技术基础课的土力学与基础工程课程也应兼顾土木工程专业中各个行业领域的技术要求选择教学的内容。

由于各地自然地质条件的差异，地基基础技术的地区性比较强，教材应当给各个地区院校选择教学内容的自由度，由于本书针对全国性的需要，选材的面比较广，但各校在使用本书时可根据实际情况有重点地选择适合教学需要的内容。

由于历史的原因，过去对技术基础课过多地强调结合专业的要求，而原来设置的专业面又很窄，将一些行业特殊性很强的专业课内容放在技术基础课里，这就必然削弱了公共性、基础性的内容，使学生的知识面过窄。例如学了土力学与基础工程这门课程以后，建筑工程专业的学生不知流网，桥梁专业的学生不懂弹性地基梁板计算，这就很难适应设计施工单位不断拓宽业务领域的形势，不能满足生产单位对技术人员专业面拓宽的要求。

在编写这本教材时，为了适应专业调整的需要，尽可能地考虑了合并到土木工程专业中的各个不同行业的共同需要，选择最基本的、必需的内容，按技术基础课的教学要求来安排，以适应不同类型专业后续教学的需要。为达到这个目的，注意了处理下列几个方面的关系：

1. 根据土力学基础工程这门学科自身的体系和内在联系来安排顺序与选择表达方法，加强了基本原理的教学，因为只有掌握了基本原理才能从根本上具备了适应各个不同行业要求的能力，才会使用不同行业的专门化规范。

2. 鉴于各个行业的规范之间差别比较大，不仅方法不同，而且有时还有基本原则的区

别，但是在教材中却不可能介绍所有的规范。因此本书将规范作为基本原理的实用性方法来处理，而不以规范体系作为教材体系的依据，这样不仅有利于学生掌握实际技能并且也有利于学生理解基本原理，有利于学生适应以后工作中可能用到的不同行业规范的特殊要求。

3. 基本的术语符号和计量单位本书均按我国法定的有关标准执行。但由于在不同行业的规范中，专业性术语符号的交叉重复现象比较多，如将这些术语符号作为教材的基本用语对初学者非常不利。因此本书的专业名词主要采用由中国土木工程学会土力学及基础工程学会编写的《土力学基础工程名词》的术语符号，这本名词是与国际土力学会的统一术语名词是一致的，这有利于学生建立与国际接轨的符号系统，便于阅读国内外的土力学基础工程文献资料；但在引用有关规范时则尽可能沿用其原来的符号，并加必要的注释使学生能够了解与区别有关规范的一些专业术语。

第一章 土的物理性质及其工程分类

本章主要讨论土的物质组成以及定性、定量描述其物质组成的方法，包括土的三相组成、土的三相指标、土的结构构造、粘性土的界限含水量、砂土的密实度和土的工程分类等。这些内容是学习土力学原理和基础工程设计与施工技术所必需的基本知识，也是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题时讨论的最基本的内容。

第一节 土的三相组成

自然界的土是由岩石经风化、搬运、堆积而形成的。因此，母岩成分、风化性质、搬运过程和堆积的环境是影响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，随着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。

一、土的固相

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质，是构成土的骨架最基本的物质，称为土粒。对土粒应从其矿物成分、颗粒的大小和形状来描述。

(一) 土的矿物成分

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、三氧化二铁、次生二氧化硅、粘土矿物以及碳酸盐等。次生矿物按其与水的作用可分为易溶的、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，当其含量不同时土的工程性质就各异。

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，有些矿物分解成为次生的粘土矿物。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。

在风化过程中，在微生物作用下，土中产生复杂的腐殖质，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无机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石等粘土矿物。当然，湿度会影响颜色的深浅，一般描述的是土处在潮湿状态的颜色。

(二) 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。同时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地描述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. 土的粒组划分

天然土的粒径一般是连续变化的，为了描述方便，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。从 70 年代末到 80 年代末这十年中，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》(GBJ7-89) 和《岩土工程勘察规范》(GB50021-94) 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的界限从 0.05mm 改为 0.075mm。我国上述规范采用的粒组划分标准见表 1-1。《土的工程分类标准》(GBJ145-90) 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。

粒组划分标准 (GB50021-94)

表 1-1

粒组名称	粒组范围 (mm)	粒组名称	粒组范围 (mm)
漂石 (块石) 粒组	>200	砂粒粒组	0.075~2
卵石 (碎石) 粒组	20~200	粉粒粒组	0.005~0.075
砾石粒组	2~20	粘粒粒组	<0.005

粒组划分 (GBJ145-90) 表 1-2

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	粗砾	60~20
	砾粒 细砾	20~2
	砂粒	2~0.075
细粒	粉粒	0.075~0.005
	粘粒	<0.005

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)，它可用于描述土中不同粒径土粒的分布特征。

常用的粒度成分的表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法。

(1) 表格法：是以列表形式直接表达各粒组的相对含量。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

粒度成分分析结果。

(2) 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百分含量。表 1-3 中的三种土的累计曲线如图 1-1 所示。

粒度成分分析结果 (%)

表 1-3

粒组 (mm)	土样 A	土样 B	土样 C	粒组 (mm)	土样 A	土样 B	土样 C
10~5		25.0	—	0.10~0.075	9.0	4.6	14.4
5~2	3.1	20.0	—	0.075~0.01		8.1	37.6
2~1	6.0	12.3	—	0.01~0.005		4.2	11.1
1~0.5	18.4	8.0	—	0.005~0.001		5.2	18.9
0.5~0.25	11.5	6.2	—	<0.001		1.5	10.0
0.25~0.10	26.0	4.9	8.0				

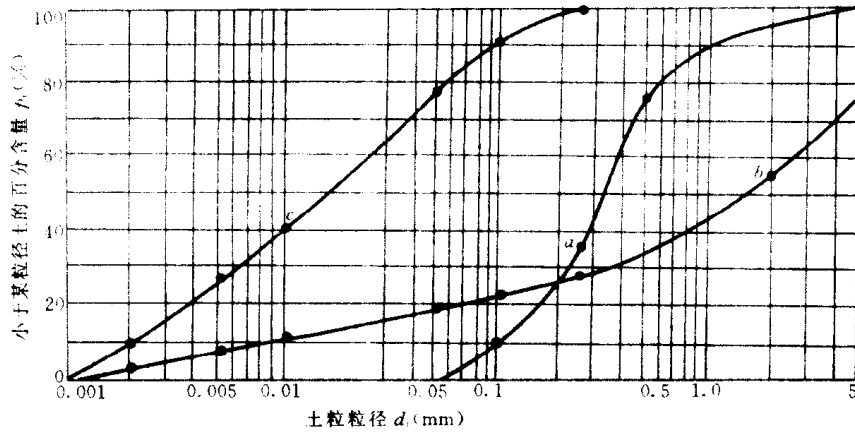


图 1-1 土的累计曲线

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

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

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} ——分别相当于累计百分含量为 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， $C_u < 5$ 的土称为匀粒土，级配不良； C_u 越大，表示粒组分布范围比较广， $C_u > 10$ 的土级配良好。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。

(3) 三角坐标法：这也是一种图示法，它利用等边三角形内任意一点至三个边 (h_1 、 h_2 、 h_3) 的垂直距离的总和恒等于三角形之高 H 的原理，用表示组成土的三个粒组的相对含量，即图中的三个垂直距离可以确定一点的位置。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，就可以用图 1-2 所示的三角坐标图来表示。

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。

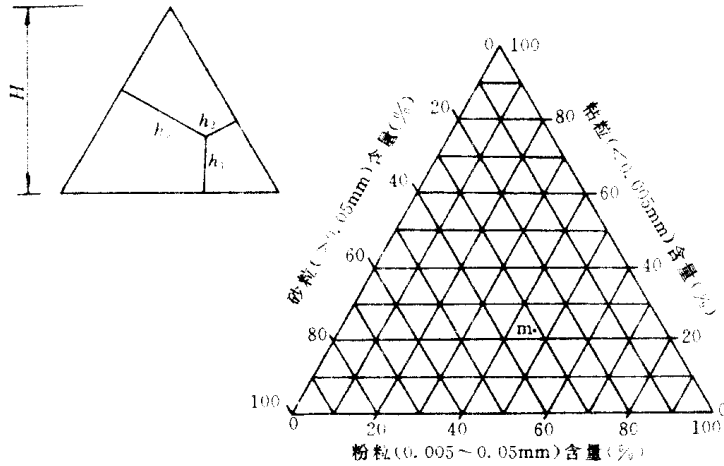


图 1-2 三角坐标图

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。三角坐标图中不同的区域表示土的不同组成，因而还可以用来确定按粒度成分分类的土名。

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。

3. 粒度成分分析方法

对于粗粒土可以采用筛分法，而对于细粒土则必须用沉降分析法分析粒度成分。

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，这是因为工艺上无法生产很细的筛布。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 1 平方英寸面积上共有 200 个筛孔）。这是在国际上比较通用的标准，因此我国已经采用了这一标准，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，才能把连结在一起的细颗粒分开。通过 0.075mm 筛的土粒用筛分法无法再加以细分，这就需要沉降分析法。

沉降分析法是根据土粒在悬液中沉降的速度与粒径的平方成正比的司笃克斯公式来确定各粒组相对含量的方法。但实际上，土粒并不是球形颗粒，因此用上述公式计算的并不是实际土粒的尺寸，而是与实际土粒有相同沉降速度的理想球体的直径，称为水力直径。用沉降分析法测定土的粒度成分可用两种方法，即比重计法和移液管法。比重计是用测定液体密度的一种仪器，对于不均匀的液体，从比重计读出的密度只表示浮泡形心处的液体密度。移液管法是用一种特定的装置在一定深度处吸出一定量的悬液，用烘干的方法求出其密度。用上述二种方法都可以求出土粒的粒径和累计百分含量。

（三）土粒的形状

土粒的形状是多种多样的，卵石接近于圆形而碎石颇多棱角，云母是薄片状而石英砂却是颗粒状的。土粒形状对于土的密实度和土的强度有显著的影响，棱角状的颗粒互相嵌