

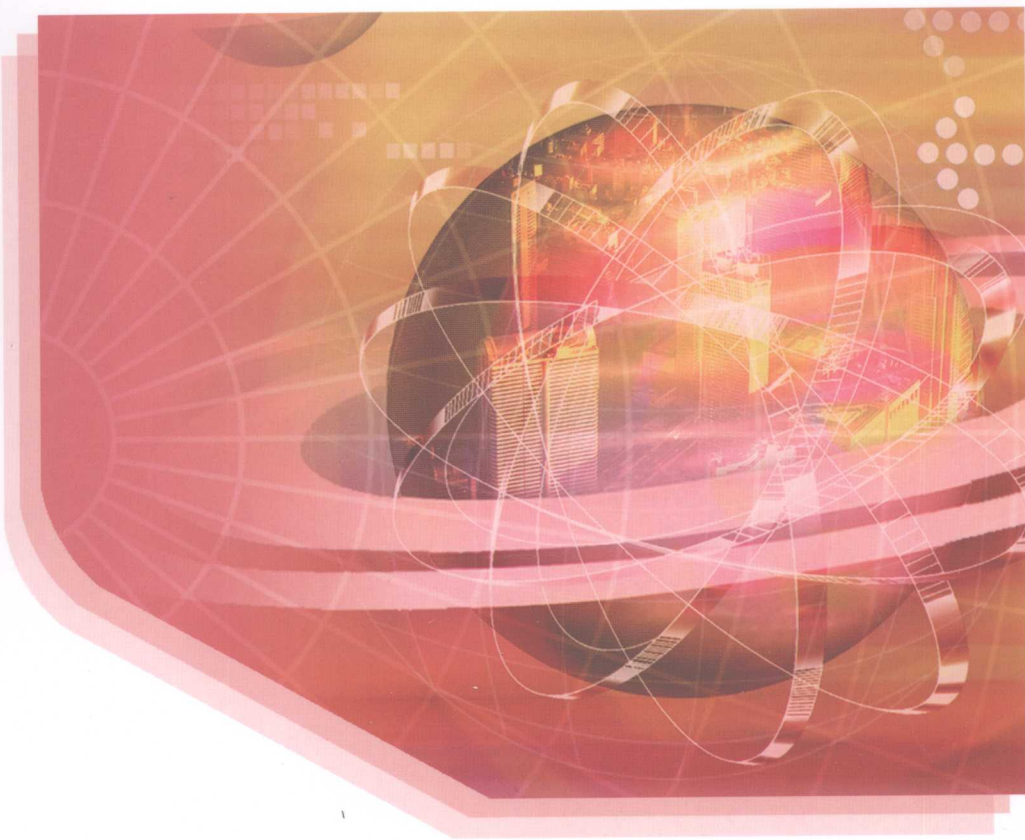


教育部高职高专资源勘查类专业教学指导委员会审查通过
高职高专院校资源勘查类专业“十一五”规划教材

主 编：孙剑锋 高怀洲 凌浩美

工程岩土学

GONGCHENG YANTUXUE



地 质 出 版 社



教育部高职高专资源勘查类专业教学指导委员会审查通过
高职高专院校资源勘查类专业“十一五”规划教材

工程岩土学

主编：孙剑锋 高怀洲 凌浩美

主审：黄世华

地质出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是高等学校高职高专地质工程与技术类专业及相关学科使用的专业主干教材。全书共分十个部分：绪论、土的物质组成及结构、土的物理性质、土的水理性质、土的力学性质、土的工程地质分类、特殊土的工程地质特性、岩石的工程地质性质、岩体的力学性质、岩体的工程分类。与有关章节相应的实习 11 次，汇编成实习指导置于书末。

本书理论联系实际，介绍经过实践检验的基本理论，适当反映本学科的新成就，充分注意符合我国的实际情况，并与近年来颁布的有关国家标准相适应。本书可作为高职高专岩土工程、水文与工程地质、工程地质勘察等专业的选用教材，也可供从事工程地质勘测和岩土工程工作的广大技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程岩土学/孙剑锋等主编. —北京: 地质出版社,
2008. 1

ISBN 978-7-116-05553-7

I. 工... II. 孙... III. 岩土工程—高等学校: 技术学校—
教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 013996 号

策划编辑: 王章俊 魏智如

责任编辑: 孙亚芸

责任校对: 刘艳华 田建茹

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324569 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 香河金鑫印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 11.5

字 数: 280 千字

印 数: 1—3000 册

版 次: 2008 年 1 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 18.80 元

书 号: ISBN 978-7-116-05553-7

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

高职高专院校资源勘查类专业“十一五”规划教材

编 委 会

主 任：桂和荣

副主任：王章俊

委 员：马艳平 马锁柱 刘 瑞 李 华 李立志

李军凯 陈洪冶 罗 刚 肖 松 辛国良

范吉钰 殷 瑛 徐耀鉴 徐汉南 夏敏全

韩运宴 靳宗菊 魏智如

编 写 院 校

长春工程学院

重庆科技学院

甘肃工业职业技术学院

湖北国土资源职业学院

湖南工程职业技术学院

河北地质职工大学

江西应用技术职业学院

吉林大学应用职业技术学院

云南国土资源职业学院

郑州工业贸易学校(郑州地校)

主 审 院 校

安徽理工大学

安徽工业经济职业技术学院

北方机电工业学校

河南理工大学

湖北国土资源职业学院

湖南工程职业技术学院

吉林大学应用职业技术学院

江西应用技术职业学院

昆明冶金高等专科学校

克拉玛依职业技术学院

宿州学院

石家庄职业技术学院

太原理工大学

徐州建筑职业技术学院

云南国土资源职业学院

郑州工业贸易学校(郑州地校)

出版说明

最近几年,我国职业教育发展迅猛,地学职业教育取得了长足进展。由于历史原因,地学高职高专教育起步较晚,基础相对薄弱,迄今没有一套完整的专业教材。为此,2006年7月初,教育部高等学校高职高专资源勘查类专业教学指导委员会(简称“教指委”)会同地质出版社,组织全国分属地矿、冶金、石油、核工业部门的10所高职高专院校的一线优秀教师,联合编写了这套高职高专资源勘查类专业教材。教材编写从地学高职高专教育的教学实际需要出发,内容安排以理论够用,注重实践为原则;编写体例有所创新,章前有引导性内容,章后给出了重点内容提示及本章的复习思考题。

首批编写的教材共22种,包括:《普通地质学》、《地质学基础》、《岩石学》、《矿物学基础》、《古生物地史学》、《构造地质学》、《地貌学及第四纪地质学基础》、《矿床学》、《固体矿产勘查技术》、《普通物探》、《地球化学找矿方法》、《水文地质学基础》、《专门水文地质学》、《钻探工程》、《钻探设备》、《土力学地基基础》、《工程岩土学》、《岩土工程勘察》、《地质灾害调查与评价》、《宝石学基础》、《宝石鉴定》、《测量技术》。这些教材从2007年6月开始,陆续由地质出版社出版。

为了保证教材编写出版的顺利进行,确保教材的编写质量,本套教材从编立项开始就成立了教材编写委员会。由教指委主任、宿州学院院长、博士生导师桂和荣教授任编委会主任,地质出版社副社长王章俊编审任编委会副主任。

教材编写过程中,参编教师投入了大量的心血和精力。多数教材融入了主编们近年来的教学及科研成果,从而使本套教材具有较强的时代感和较好的实用性。还要特别指出的是,教材的第一主编承担了编写大纲的制定、分工、统稿、修改、定稿等工作,为教材的顺利出版作出了重要贡献。各参编院校的领导和从大局出发,给予每位作者最大限度的支持,保证了本套教材的按时出版。

教材建设是教指委的职能之一。本套教材在编写过程中,教指委一直发挥着管理与协调作用。2007年4月底,教指委组织14所院校的专家在北京召开了教材评审会议。与会专家会前对书稿做了认真审读,对教材初稿给予了较高评价,同时,指出了存在的问题和不足,并提出了具体的修改建议。会议结束后,作者根据评审意见对教材做了进一步的修改和完善。

作为本套教材的出版单位——地质出版社感谢教指委和各位作者对我们的信任和支持!精品教材的诞生需要多方努力,反复锤炼。为了使本套教材日臻完善,成为高职高专资源勘查类专业的精品教材,希望广大师生在使用过程中,注意收集各方意见和建议,并反映给教指委或地质出版社,以便修订时参考。

地质出版社

2007年12月

前 言

本书是根据地质出版社于2006年7月在郑州主持召开、教育部高等学校高职高专资源勘查类专业指导委员会参加的资源勘查类、地质工程与技术类高职高专专业教材编写研讨会通过的“会议纪要”的要求编写的。教材编写大纲是按课时60~80学时,参照郑州会议通过的《工程岩土学》教学要求拟编的。

本书依据高职高专教学的特点,紧紧围绕高职高专以培养应用型人才为目标,在明确本教材的教育目标及知识、能力、素质结构前提下编写的。在遵循学生认知规律的基础上,注重教材的实用性,把基本的工程岩土学概念、基础知识、基本技能培养放在首要地位,力求做到概念清楚、简明扼要、重点突出、通俗易懂,体现“应用性、实用性、综合性”的原则,满足专业覆盖面较广、培养宽口径及复合型人才的需求。

本书的绪论及第五、六章由湖北国土资源职业学院孙剑锋编写;第一章由湖北国土资源职业学院邢宏永编写;第二、三、四章及土的实验部分由江西应用技术学院凌浩美编写,胡雷、王娟参编;第七、八、九章及岩石的实验部分由郑州工业贸易学校高怀洲编写,最后由孙剑锋统编定稿。全书由安徽工业经济职业技术学院黄世华教授主审。教育部高等学校高职高专资源勘查类专业教材审定委员会于2007年12月召开教材评审会,对送审稿进行了细致的审查讨论,提出了许多修改意见。会后编者根据审稿意见进行了认真修改。

在编写过程中,得到了湖北国土资源职业学院领导的大力支持和帮

助，许多同行提出了宝贵的意见，使教材质量得到了提高；书中引用了大量前人工作成果和现行相关规范、教材的有关内容，对此，编者深表谢意。

由于编写和统稿时间仓促及编者水平所限，书中不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2007年12月

目 次

前 言

绪 论 (1)

一、工程岩土学在工程地质学中的地位 (1)

二、工程岩土学的研究对象、研究内容和方法 (1)

三、本课程的内容和学习要求 (2)

第一章 土的物质组成及结构 (3)

第一节 土的基本物质组成 (3)

第二节 土的粒度成分 (3)

一、粒组和粒度成分 (3)

二、土的粒度成分的测定方法 (4)

三、土的粒度成分的表示方法 (5)

第三节 土的矿物成分 (6)

一、土中矿物成分的基本类型 (6)

二、粒组与矿物成分的关系 (7)

三、各类矿物对土的工程地质性质的影响 (8)

四、粘土矿物对土的工程地质性质的影响 (9)

第四节 土中的水 (9)

一、结合水 (9)

二、非结合水 (10)

第五节 土中的气体 (11)

第六节 土的结构和构造 (11)

一、粗粒土(无粘粒土)结构 (12)

二、细粒土的结构 (12)

三、土的构造 (12)

第二章 土的物理性质 (14)

第一节 土的重度及其指标 (14)

一、土的比重 (15)

二、土的天然密度和重度 (15)

第二节 土的含水性及其指标 (16)

一、土的含水量 (17)

二、土的饱和度 (17)

第三节 土的孔隙性及其指标 (17)

一、孔隙度 (18)

二、孔隙比 (18)

三、砂类土的相对密度	(19)
第四节 各种指标之间的关系	(19)
第三章 土的水理性质	(23)
第一节 粘性土的状态及其指标	(23)
一、粘性土的可塑性和界限含水量	(23)
二、塑性指数和液性指数	(25)
三、影响粘性土可塑性的因素	(26)
第二节 粘性土的胀缩性及崩解性	(26)
一、粘性土的胀缩性	(26)
二、粘性土的崩解性	(27)
三、影响膨胀、收缩及崩解的因素	(28)
第三节 土的毛细性	(29)
一、基本概述	(29)
二、表征毛细水特征的指标	(29)
三、影响毛细水的因素	(30)
第四节 粘性土的渗透性	(30)
一、土的渗透性规律	(30)
二、影响粘性土渗透性的因素	(30)
第四章 土的力学性质	(32)
第一节 土的压缩性	(32)
一、土压缩的基本概念	(32)
二、孔隙比与压力的关系——压密定律	(33)
三、土的压缩模量和变形模量	(37)
四、土的天然压力状态和前期固结压力	(38)
五、影响土的压缩性的因素	(39)
第二节 土的抗剪性	(41)
一、抗剪强度的概念	(41)
二、抗剪强度指标的测定	(41)
三、影响土的抗剪强度的因素	(45)
第三节 动荷载作用下土的压密性	(46)
一、研究土击实性的意义	(46)
二、击实试验方法	(46)
三、土的击实性的本质	(48)
四、影响土击实性的主要因素	(49)
第五章 土的工程地质分类及一般土的工程地质特性	(52)
第一节 土的工程分类	(52)
一、《岩土工程勘察规范》(GB50021—2001) 中土的分类	(53)
二、《土的分类标准》(GBJ145—90) 的分类	(54)
第二节 一般土的工程地质特性	(57)
一、碎石土	(57)
二、砂类土	(57)
三、粘性土	(58)

四、粉土	(58)
第六章 特殊土的工程地质特性	(59)
第一节 软土	(59)
一、软土的定义及分布规律	(59)
二、软土的岩土工程地质分类	(60)
三、软土的判别方法	(61)
四、软土的工程地质特征	(61)
第二节 膨胀土	(62)
一、膨胀土的定义及特征	(62)
二、膨胀土的工程地质特征	(62)
三、膨胀土的岩土工程地质分类	(63)
四、膨胀土的判别和胀缩性分级	(64)
五、膨胀土地基上建筑物的变形	(64)
第三节 红粘土	(66)
一、红粘土的定义、形成条件及分布规律	(66)
二、红粘土的工程地质特征	(67)
三、红粘土的岩土工程地质分类	(67)
第四节 黄土	(68)
一、黄土的成因、时代和分布	(68)
二、黄土的工程地质性质	(69)
三、黄土的湿陷性评价	(70)
第五节 盐渍土	(71)
一、盐渍土的形成和定义	(71)
二、盐渍土的分布	(72)
三、盐渍土的分类	(72)
四、盐渍土的工程性质	(72)
五、盐渍土含盐类型和含盐量对土的物理力学性质的影响	(73)
第六节 填土	(74)
一、填土的定义和工程地质分类	(74)
二、填土的工程性质	(74)
第七章 岩石的工程地质性质	(77)
第一节 岩石的物理性质	(77)
一、岩石的密度	(77)
二、岩石的空隙性	(78)
三、岩石的吸水性	(78)
四、岩石的软化性和抗冻性	(79)
第二节 岩石的力学性质	(80)
一、岩石的变形性质	(80)
二、岩石的强度特征	(85)
第八章 岩体的力学性质	(91)
第一节 岩体结构面的工程地质特征	(91)
一、结构面的地质成因及特征	(91)

二、结构面的分级	(94)
三、结构面的分类	(96)
四、结构面的密集程度和形态	(96)
第二节 岩体的变形性质	(99)
一、岩体变形的原位试验及变形参数	(99)
二、岩体的应力-应变曲线特征	(101)
三、结构面的变形特征	(102)
四、岩体变形曲线类型	(102)
第三节 岩体的强度性质	(103)
一、结构面的抗剪强度	(103)
二、岩体的剪切试验及抗剪强度	(109)
三、岩石的长期强度	(110)
第四节 岩体的动力性质	(112)
一、岩体中弹性波的传播规律	(112)
二、岩体声波传播速度的现场测定	(113)
三、岩体的动变形与动强度参数	(114)
第九章 岩体的工程分类	(117)
第一节 岩体结构的基本类型划分	(117)
第二节 影响岩体工程地质性质的主要因素	(118)
一、岩石的物质成分和结构特征的影响	(118)
二、地下水对岩体性质的影响	(120)
三、风化作用的影响	(121)
第三节 岩体的工程地质分类	(123)
一、工程分类与岩体的质量指标	(123)
二、巴顿岩体分类	(124)
三、我国常用的岩体分类	(125)
附录 实习指导	(135)
实习一 粗粒土的粒度分析(筛分法)	(135)
实习二 细粒土的粒度分析(密度计法)	(138)
实习三 土粒密度试验(比重瓶法)	(144)
实习四 土的密度试验(环刀法)	(146)
实习五 土的含水率试验(烘干法)	(148)
实习六 界线含水率试验	(149)
实习七 土的压缩试验(杠杆式压缩仪法)	(156)
实习八 土的直接剪切试验(应变控制式)	(160)
实习九 土的击实试验	(163)
实习十 岩石的单轴抗压强度试验(单轴压力机法)	(167)
实习十一 岩石的抗剪断强度试验(变角板法)	(168)
参考文献	(172)

绪 论

一、工程岩土学在工程地质学中的地位

《工程岩土学》是地质工程类的一门专业基础课程,它是从工程建设的角度来研究岩石和土的成分、结构、构造和工程地质性质的一门学科。本书是专门为高职教育工程地质类及相关专业编写的。

位于地壳表层的岩体和土体,在工程建设中作为建筑物的基础和建筑材料以及各种工程的地质环境,必然会与建筑物产生一定的关联和相互制约,影响着工程建筑物的安全、稳定和正常使用。实际中,由于某种地质条件欠佳而改变设计方案或者提高工程造价的事件屡见不鲜,因对建筑物所处岩土体的工程地质特性调查不清而出现的重大安全问题也时有发生。因此,地质工程、土木工程技术人員必须具备一定的工程岩土的基础知识和实践技能。

二、工程岩土学的研究对象、研究内容和方法

作为建筑地基、建筑介质或建筑材料的地表岩土体,是工程岩土学的研究对象。岩土是坚硬岩石和松软土的简称,它们都是地质作用的产物。无论坚硬岩石还是松软土,一般都是由固相、液相、气相组成的多相体系,而且都是矿物集合体。尽管岩石和土可用“岩土”这一地质术语来概括,但两者在工程地质性质上却有很大差别。岩石的矿物颗粒间具有牢固的结晶连接或胶结连接,因而强度高,在外力作用下变形量小;土的颗粒间连接很弱或者呈松散集合体,故强度较低,易变形。岩土体可定义为:由一定的岩土物质材料组成,具有一定岩土体结构,赋存于一定地质环境中的地质体。

工程岩土学的研究对象是岩土体,工程岩土学研究的主要内容包括以下几个方面:

1) 研究岩土体工程地质性质(主要是与工程建筑有关的性质),包括:物理性质——岩土体所具有的物理状态,如密度和干湿状态、孔隙或孔隙特征;水理性质——岩土体与水相互作用表现出来的性质,如可塑性、膨胀性、吸水性、软化性等;力学性质——岩土体在外力作用下表现出来的变形和强度特征。

2) 研究岩土体物质组成和结构特征对岩土体工程地质性质的影响;岩土体工程地质性质在空间上的分布规律。

3) 研究岩土体工程地质性质指标,为工程设计提供相关的技术数据;研究相应的测试方法和测试技术。

4) 根据工程的需要进行岩土和岩土体的工程地质分类。

5) 研究岩土体工程地质性质在自然因素或人类工程活动影响下的变化趋势和变化规律,并预测这种变化对各种建筑物的影响和危害。

为开展上述内容的研究,工程岩土学采用的主要方法是一般地质学方法和专门的试验

方法。因为岩土体是地质体的一部分,是自然历史的产物,在岩土体的形成和变化过程中,会形成不同的物质组成和结构,各自表现出不同的工程地质性质。只有采用地质学的自然历史分析法,才能了解岩土体工程地质性质形成的原因和演变的历史,正确地认识目前的状态及今后的变化趋势。然而,地质学方法所得的结果往往是定性的,不能满足工程设计和施工的需要。为了定量说明岩土体工程地质性质,定量评价与建筑物有关的地质环境问题,必须采用专门的试验方法,即取样进行室内试验或现场原位测试,以获得表征岩土体工程地质性质的各种定量指标,以满足工程设计的要求。工程岩土学采用的这两种研究方法的关系是相互配合、互为补充的,一般地质学方法是岩土体工程地质研究的基础,专门试验方法则是前者的深入研究和继续,只有把通过试验获得的各种数据和地质学方法得出的正确结论结合起来,才能对岩土体性质及其变化,以及各种工程地质问题做出客观准确的评价。

由于土和土体与岩石和岩体的工程性质有较大的差别,一般将其分开研究,故本书分两部分:第一部分(第一章至第六章)为土体方面的内容,第二部分(第七章至第九章)为岩体方面的内容,分别讨论其物质组成、结构及工程地质性质,介绍根据工程建筑的要求进行岩土体的工程分类。工程岩土学是一门实践性较强的学科,因此本书附有实习指导(有相关的土工及岩石试验)。要学好本门课程,不仅要较好地掌握理论内容,而且必须学会试验技术和方法,这有助于对基本理论的更好理解。

三、本课程的内容和学习要求

本课程是工程勘察、水文地质与工程地质、基础工程、岩土工程、土木建筑工程等专业的主要专业基础课程之一,学生通过本课程的学习,应达到以下几个目的:

- 1) 掌握土体物质的基本组成和矿物成分;
- 2) 掌握土的物理性质、水理性质以及相应的指标;
- 3) 熟悉和理解土体受力状态下的压缩性和抗剪性,基本掌握相关力学指标;
- 4) 基本掌握特殊土的工程地质特性;
- 5) 掌握岩石的工程地质特性及指标;
- 6) 基本掌握岩体的力学性质及指标;
- 7) 基本熟悉岩土体的工程地质分类方法和内容;
- 8) 熟悉测定岩土体工程地质基本性质指标的试验方法及测试数据的整理与应用。



复习思考题

1. 工程岩土学研究的主要内容是什么?
2. 学习本课程的目的是什么?
3. 工程岩土学主要采用哪些研究方法?

第一章 土的物质组成及结构

内容介绍与学习目的

本章主要介绍了土的物质组成以及土的结构构造。内容包括：土的粒度成分，土的矿物成分，粘粒与水的相互作用，土中的水，土中的气体。通过对本章的学习，认识土的三相组成特征、矿物成分对土的性质影响，粘土矿物含量对粘性土的影响等。

第一节 土的基本物质组成

土通常是由固体颗粒、液体水和气体三部分组成的三相体系。固体部分，一般是由许多大小不等、形状不同的矿物颗粒（有时含有机质）按照各种不同的排列方式组合在一起，构成土的骨架主体，称为土粒，是土的最主要组成部分。土的骨架间布满相互贯通的孔隙，这些孔隙有时完全被水充满，有时一部分被水占据，另一部分被气体（主要为空气）占据。土颗粒、水和气体这三个基本组成部分不是彼此孤立地、机械地混合在一起，而是相互联系、相互作用，共同形成土的工程特性。因此，各种土中三相物质组成的自身特性、它们之间的相互比例关系和相互作用，是决定土的工程地质性质的最本质的因素。三相物质组成是构成土的工程地质性质的物质基础。

固相土粒是构成土的主体，也是最稳定、变化最小的成分。在三相之间相互作用过程中，土粒一般居主导地位。在天然土体中遇到的固体颗粒的粒径分布范围很大。在进行土的工程地质研究时，首先从土粒大小组合、土的矿物成分等几个方面来考虑。当土中含有液态水时，由于细小的土粒（尤其是粘粒）带有电荷，对极性水分子有吸引力，从而影响土的工程地质性质。土中的气体对土的性质也有一定的影响。

第二节 土的粒度成分

一、粒组和粒度成分

土的粒度成分是指土中各种大小土粒的相对含量。自然界中，组成土体骨架的土粒大小悬殊、性质各异。土粒的大小通常以其平均直径的大小来表示，简称粒径，以“毫米”（mm）为单位。为了便于研究土中各种大小土粒的相对含量，及其与土的工程地质性质的关系，有必要将工程地质性质相似的土粒归并成组，按其粒径的大小分为若干组别。这种大小相近、性质相似的组别称粒组，或称粒级。每个粒组都以土粒直径的两个数值作为其上下限，并且给予适当的名称。

在自然界中，土粒直径变化幅度很大，从数米的漂石到几微米（ 10^{-6}m ）的粘粒，因

而划分粒组是件复杂的工作。从不同的研究目的出发，有不同的划分方法，但其划分原则是相近的，都是服从量变到质变的辩证规律。

目前，我国广泛应用的粒组划分方案如表 1-1 所示。一般是按粒径由粗至细依次划分为：漂块石粒组、卵碎石粒组、砾粒组、砂粒组、粉粒组和粘粒组六个粒组。各粒组，由于其土粒大小、矿物成分、化学成分不同，表现出的工程地质性质有很大差异。

表 1-1 我国土的粒组划分方案

粒径/mm	粒组的名称			
	方案一		方案二	
>200	漂石粒（块石粒）		漂石粒（块石粒）	
200 ~ 60	卵石粒（碎石粒）		卵石粒（碎石粒）	
60 ~ 20			砾粒	粗砾粒
20 ~ 5				中砾粒
5 ~ 2				细砾粒
2 ~ 0.5	砂粒	粗砂粒	砂粒	粗砂粒
0.5 ~ 0.25		中砂粒		中砂粒
0.25 ~ 0.075		细砂粒		细砂粒
0.075 ~ 0.005	粉粒		粉粒	
<0.005	粘粒		粘粒	

注：漂石、卵石和砾石呈一定的磨圆状（圆形或亚圆形），块石、碎石和角砾石带有棱角。方案一应用于现行国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007—2002）和《岩土工程勘察规范》（GB50021—2001）；方案二见国家标准《土的分类标准》（GBJ145—90）。可以看出，两种方案的划分基本一致，唯一不同的是方案二将方案一中卵石粒的粒径下限由 20mm 提高到 60mm，以便与世界上多数国家的一般规定一致。

表 1-1 中的前三组（漂、卵、砾粒组）多为岩石碎块。由这种粒组形成的土，孔隙粗大，透水性极强，毛细上升高度微小，甚至没有；无论在潮湿或干旱状态下，均没有连结，既无可塑性，也无胀缩性；压缩性极低，强度高。

砂粒组主要为原生矿物颗粒，其成分大多是石英、长石、云母等。由这种粒组组成的土，孔隙较大，透水性强，毛细上升高度很小；湿时，粒间具有弯液面力，能将细颗粒连结在一起；干时及饱水时，粒间没有连结，呈松散状态，既无可塑性，也无胀缩性；压缩性低，强度较高。

粉粒组是原生矿物与次生矿物的混合体，其性质介于砂粒与粘粒之间。由该粒组组成的土，因孔隙小而透水性弱，毛细水上升高度很高；湿润时略具有粘性，因其比表面积较小，失去水分时连结力减弱，遇风导致尘土飞扬；有一定的压缩性，强度较低。

粘粒组主要由次生矿物组成。由该粒组组成的土，其孔隙很小，透水性极弱，毛细水上升高度较高；有可塑性、胀缩性；失水时连结力增强使土变硬；湿时具有较高的压缩性，强度低。

二、土的粒度成分的测定方法

土的粒度成分，通常以各粒组的质量分数（%）来表示，说明各粒级的分配情况，

也称颗粒级配。在工程实践中，将土按粒度成分分类，用来大致判别土的工程地质性质，进行工程地质调查，确定土体成因类型；编制地质岩性图、剖面图时也需粒度分析的资料。这就有必要对土进行粒度分析，或称颗粒分析，分离出土中各个粒组，并测定其相对含量。对不同类型的土采用不同的方法分析，粗粒的土采用筛析法，细粒土采用静水沉降法。

1) 筛析法。对于粒径大于 0.075mm 的粗粒土，可用筛析法测定粒度成分。试验时，将风干、分散的代表性土样通过一套孔径不等标准筛（2.0mm，1.0mm，0.5mm，0.25mm 和 0.075mm），称出留在各个筛子上土的质量，即可求出各个粒组在土样中的相对含量。

2) 静水沉降分析法。粒径小于 0.075mm 的粉粒或粘粒难以筛分，一般可根据土粒在水中匀速下沉时的速度与粒径的理论关系，用比重计法或移液管法测定。

测定原理和操作方法见附录中实习一、实习二。

三、土的粒度成分表示方法

根据试验测得的粒度成分资料，可用多种方法表示，以便找出粒度成分变化的规律性。常用的表示方法有列表法、累计曲线法和三角图法。

1. 列表法

将粒度分析的成果，用表格的形式表达。列表法可以清楚地用数量说明土样各粒组的含量；但对于大量土样进行对比时，比较困难，不能获得直观的概念。

2. 累计曲线法

以粒径 d 为横坐标，以该粒径的累计百分含量为纵坐标，绘制颗粒级配的累计曲线。累计曲线的坐标系一般采用半对数坐标。因为土粒粒径大小相差常在百倍、千倍以上，为清楚地反映细粒组成，粒径 d 宜用对数坐标表示，如图 1-1 所示。

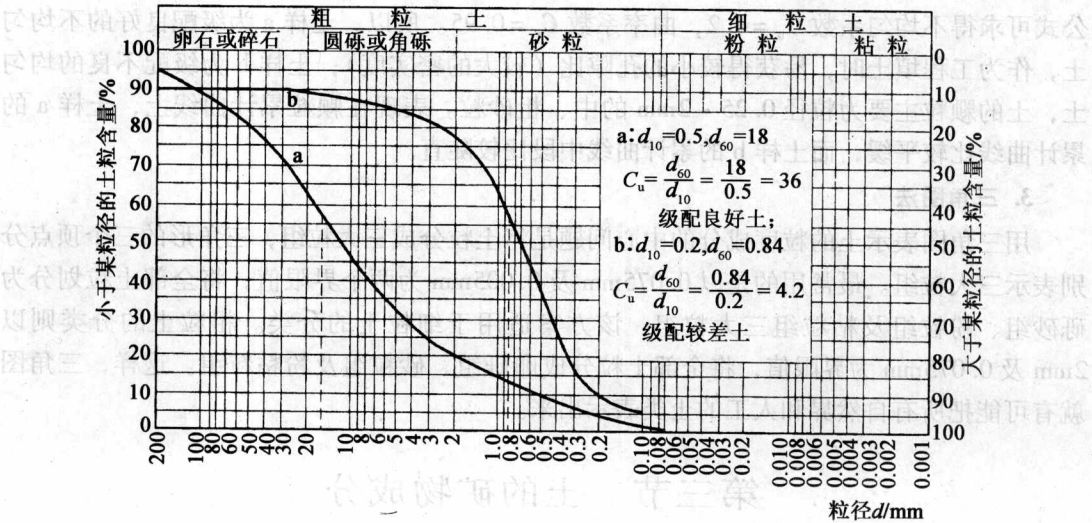


图 1-1 颗粒级配累计曲线

土的粒径级配累计曲线是土工上最常用的曲线，从这个曲线上可以直接了解土的粗

细、粒径分布的均匀程度和级配的优劣。

根据累计曲线，可以求出反映颗粒组成特征的级配指标：不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 。

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

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

土的粗细常用平均粒径 d_{50} 表示，它指土中大于此粒径和小于此粒径的土的含量均占 50%。为了表示土颗粒的均匀程度和级配的优劣，取如下三种粒径作特征粒径：

d_{10} ——小于此种粒径的土的质量占总土质量的 10%，也称有效粒径。

d_{30} ——小于此种粒径的土的质量占总土质量的 30%。

d_{60} ——小于此种粒径的土的质量占总土质量的 60%，也称为控制粒径。

d_{10} 之所以称为有效粒径，是因为它是土中最有代表性的粒径。其物理含义是：由一种粒径土组成的理想均匀土，如与另一个非均匀土具有相等的透水性，那么这个均匀土的粒径应与这个不均匀土的粒径 d_{10} 大致相等。 d_{10} 常见于机械潜蚀、透水性、毛细性等经验公式中。

工程中，当 $C_u \geq 5$ ， $C_c = 1 \sim 3$ 时，称土的级配良好，为均粒土，表明土中大小颗粒混杂，累计曲线平缓；若不能同时满足上述要求，则称土的级配不良，为不均粒土，表明土中某一个或几个粒组含量较多，累计曲线中段陡直。

【例 1-1】 有 a、b 两个土样，根据粒度分析试验成果所做的颗粒级配累计曲线如图 1-1 所示。试分别判断两个土样的颗粒级配情况。

解：对土样 a， $d_{10}=0.5$ ， $d_{30}=4.2$ ， $d_{60}=18$ ，按式 (1-1) 和式 (1-2) 求得不均匀系数 $C_u=36$ ，曲率系数 $C_c=1.96$ ；对土样 b， $d_{10}=0.2$ ， $d_{30}=0.4$ ， $d_{60}=0.84$ ，按同样公式可求得不均匀系数 $C_u=4.2$ ，曲率系数 $C_c=0.95$ 。所以，土样 a 为级配良好的不均匀土，作为工程填土时，易获得较小的孔隙比（较大的密实度）；土样 b 为级配不良的均匀土，土的颗粒主要为粒径 0.25~2mm 的中、粗砂粒。表现在颗粒累计曲线上，土样 a 的累计曲线比较平缓，而土样 b 的累计曲线中段比较陡直。

3. 三角图法

用三角图表示土的粒度成分的中心问题是将土粒分成三大粒组，三角形的三个顶点分别表示三大粒组。最常用的是以 0.075mm 及 0.005mm 为两个界限值，将全部土粒划分为砾砂组、粉粒组及粘粒组三大粒组。该方案适用于细粒土的分类。粗粒土的分类则以 2mm 及 0.075mm 为界限值，将全部土粒分成卵砾组、砂粒组及粉粘粒组。这样，三角图就有可能把所有自然界和人工的土类表示出来。

第三节 土的矿物成分

一、土中矿物成分的基本类型

土中的固体颗粒是由矿物构成的，按其成因和成分分为原生矿物、次生矿物和有