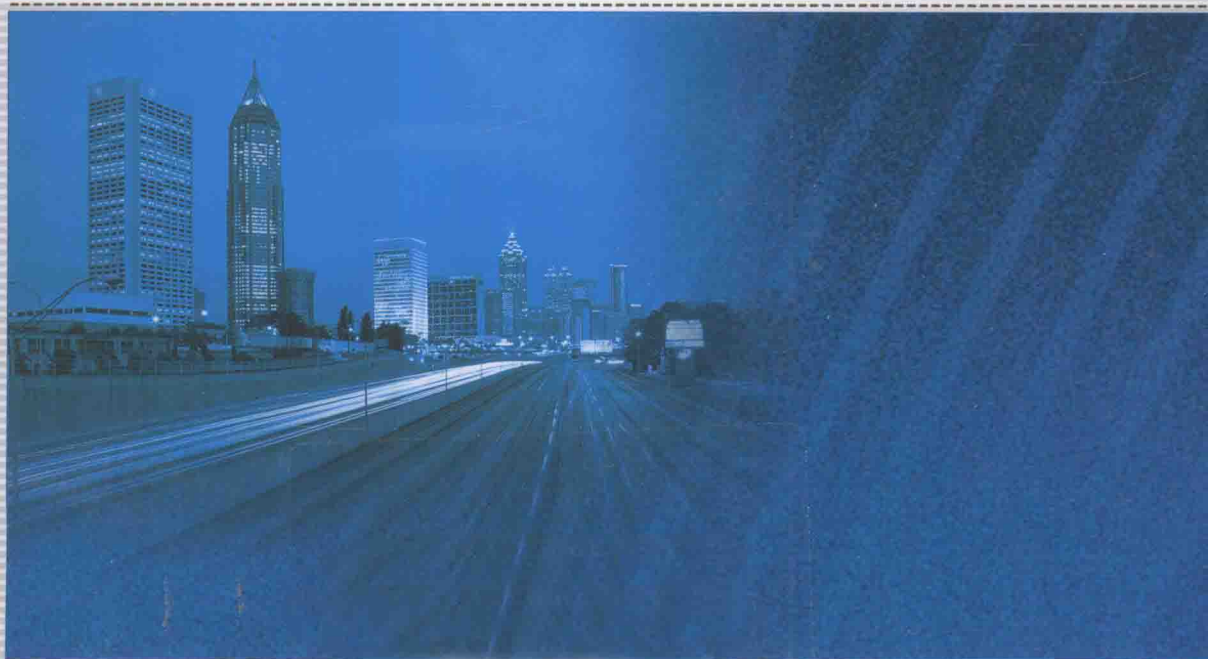




高等职业教育“十二五”规划教材  
——道路桥梁工程技术专业系列规划教材

# 土质学与土力学

◎ 务新超 主编



TUZHIXUE YU TULIXUE



免费提供  
电子教案



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

高等职业教育“十二五”规划教材  
道路桥梁工程技术专业系列规划教材

# 土质学与土力学

主 编 务新超  
副主编 罗从双 黄 燕  
参 编 刘小梅 齐善忠  
主 审 吕凡任



机械工业出版社

本书在编写中力求反映岩土工程新规范的内容,反映新技术的应用,体现高职教学实践技能的培养。各项目前有知识目标、能力目标及重点与难点;各项目设置有基本知识和实训两大版块;每部分基本知识前有引导问题、后有思考题;各项目后配有习题。本书还配有资料丰富的教学课件。

本书主要内容包括:绪论;土的物质组成与结构;土的物理性质与工程分类;土体中的渗流问题;土中应力的计算;土的力学性质;地基沉降计算;土压力与挡土墙;地基承载力。

本书适合高职高专道路桥梁工程技术专业及公路监理、铁路工程技术、土木工程等相关专业教学使用,也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

土质学与土力学/务新超主编. —北京:机械工业出版社,2013.5

高等职业教育“十二五”规划教材. 道路桥梁工程技术专业系列规划教材

ISBN 978-7-111-42269-3

I. ①土… II. ①务… III. ①土质学-高等职业教育-教材②土力学-高等职业教育-教材 IV. ①P642.1②TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第083948号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李坤 责任编辑:李坤

版式设计:霍永明 责任校对:纪敬

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2013年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.5印张·278千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42269-3

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 出版说明

近年来,随着国家经济建设的迅速发展,道路桥梁的发展规模不断扩大,建设速度不断加快,对道桥专业具备高等职业技能的人才需求也随之不断加大。为了贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的精神,我们通过深入调查,组织了全国二十余所高职高专院校的一批优秀教师,编写出版了本套教材。

本套教材编写中注重培养学生的实践能力,基础理论贯彻“实用为主、必需和够用为度”的原则,基本知识采用广而不深、点到为止的编写方法,基本技能贯穿教学的始终。在教材的编写中,力求文字叙述简明扼要、通俗易懂。本套教材结合了专业建设、课程建设和教学改革成果,在广泛的调查和研讨的基础上进行规划和编写,在编写中紧密结合职业要求,力争能满足高职高专教学需要并推动高职高专道桥类专业的教材建设。

本系列教材共十六本,包括《基础工程》、《桥涵工程施工技术》、《道路 CAD》、《道路工程材料》、《道路工程测量》、《工程力学》、《路基路面工程》、《桥梁工程》、《土质学与土力学》、《公路工程估价》、《公路工程施工监理》、《道路工程制图》、《道路工程制图习题集》、《公路勘测设计》、《结构设计原理》、《公路工程检测技术》。

本系列教材适合高职高专院校、成人高校及二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校的道桥类专业使用,也可作为相关从业人员的培训教材。

机械工业出版社

# 前 言

随着我国高等职业教育的快速发展,以学生为中心的教育教学改革不断深入,学生职业能力和职业素质的培养和形成已成为当前高职教育改革的核心。适应工程一线岗位需求、突出“工学结合”的课程体系建设是教学改革的基础,教、学、练一体化的教学模式是课堂教学改革的方向。本书编写中,从高职高专学生的特点和培养目标出发,考虑道路桥梁工程技术专业学生就业岗位对专业能力的要求,重点突出工程应用能力培养。本书主要有以下特点:

(1) 力求通过引导问题、实训等环节提高学生自主学习的积极性,同时引导教师开展以学生为中心的课堂教学改革,培养学生解决工程实际问题的能力。

(2) 突出土质学与土力学的概念、原理和计算公式的应用条件,加强工程应用方面的内容,注重学生工程一线职业能力的培养。

(3) 在每个学习项目前提出知识目标和能力目标,明确重点、难点,便于学生自主学习。

(4) 在学习每一部分基础知识前提出相关问题,便于学生在学习过程中重点掌握相关内容。并在其后提出知识应用的相关问题,引导学生深入思考知识的工程应用,以利于培养学生的学习能力。

全书共设置八个学习项目,课堂教学参考学时为52学时(包括实训讲解)。学生实训的学时,各校根据实际情况确定,一般不少于一周。学时分配建议见下表。

学时分配建议表

内 容	参考学时	内 容	参考学时
绪论	1	项目五 土的力学性质	10
项目一 土的物质组成与结构	3	项目六 地基沉降计算	6
项目二 土的物理性质与工程分类	10	项目七 土压力与挡土墙	6
项目三 土体中的渗流问题	4	项目八 地基承载力	6
项目四 土中应力的计算	6	合计	52

本书由黄河水利职业技术学院务新超任主编,河南城建学院罗从双、南京交通职业技术学院黄燕任副主编,扬州职业大学吕凡任主审。参加本书编写的人员有:许昌职业技术学院刘小梅编写绪论、项目八,黄河水利职业技术学院齐善忠编写项目一、项目四,河南城建学院罗从双编写项目二,南京交通职业技术学院黄燕编写项目三、项目六,黄河水利职业技术学院务新超编写项目五、项目七。

土质学与土力学是土木工程类各专业的技术基础课,本书可作为高职高专道路桥梁

工程技术专业、公路监理专业及其他土建施工类相关专业的教材，也可以供相关工程技术人员参考。

限于编者水平，书中难免存在不足和疏漏，恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见。

**编 者**

# 目 录

出版说明	
前言	
绪论	1
项目一 土的物质组成与结构	5
知识一 土的形成与类别	5
知识二 土的三相组成与结构	7
* 实训一 土的颗粒分析	14
项目二 土的物理性质与工程分类	17
知识一 土的物理性质	17
* 实训一 测定土的三项实测指标	23
知识二 土的物理状态	26
* 实训二 联合测定仪测定液限和塑限	33
知识三 土的工程分类	35
* 实训三 混合土的工程分类	39
知识四 特殊土的工程地质特性	40
项目三 土体中的渗流问题	48
知识一 土的渗透性	48
* 实训一 土体渗透系数的测定	54
知识二 渗透力与渗透变形	57
* 实训二 渗透力演示试验	60
项目四 土中应力的计算	62
知识一 土的自重应力	62
知识二 基底压力	65
知识三 地基附加应力	68
知识四 有效应力原理	81
项目五 土的力学性质	85
知识一 土的压缩性	85
* 实训一 压缩性指标测定(快速)	94
知识二 土的抗剪性	95
* 实训二 强度指标测定(直剪试验)	106
知识三 土的压实性	108
* 实训三 土体击实试验	111
项目六 地基沉降计算	114
知识一 地基沉降量的计算	114

* 实训一 某地基沉降估算 .....	120
知识二 饱和黏性土的单向渗透固结理论 .....	121
<b>项目七 土压力与挡土墙</b> .....	130
知识一 挡土墙的土压力 .....	130
实训一 现场参观挡土墙 .....	133
知识二 朗肯土压力理论 .....	133
知识三 库仑土压力理论 .....	140
知识四 土压力的影响因素 .....	145
知识五 挡土墙设计简介 .....	148
* 实训二 重力式挡土墙设计 .....	150
<b>项目八 地基承载力</b> .....	153
知识一 概述 .....	153
知识二 原位试验确定地基承载力 .....	156
知识三 按塑性开展区的范围确定地基承载力 .....	160
知识四 按极限荷载确定地基承载力 .....	163
知识五 按规范确定地基容许承载力 .....	167
<b>参考文献</b> .....	172



# 绪 论

## 一、土与土体的概念

地球表层多由岩石和土组成。未经风化的岩石，其矿物颗粒间有较强的连接，具有较高的强度，压缩性小、透水性弱，一般为坚硬的块体。而土是岩石风化的产物，是矿物颗粒的松散集合体。

土体是由厚薄不等、性质各异的土层形成的组合体，将影响工程建筑的变形和稳定性。凡第四纪松散物质沉积成土后，未经受成岩作用的松散物质经受压密固结作用，逐渐形成的具有一定强度和稳定性的土体，就是工程地质学中所说的土体，是人类活动和工程建设研究的对象。自然界中的土体根据组成土体的固体材料是否经历搬运、沉积过程，可以分为未经搬运的残积土体和经过搬运的沉积土体，而后者又可按搬运动力的种类和运动特征或沉积环境进一步划分。

## 二、土的特点

由于成土母岩及土体形成历史的不同，使得土体在自然界中呈现多样性；土粒之间的连接强度远小于土颗粒自身的强度，因此土体常表现出散粒性，而土的散粒性又使土体具有多孔性；土体孔隙中存在水和空气，并常受外界温度、湿度及压力的影响，所以，土又具有易变性的特点。自然界的土种类繁多、分布广泛、性质各异。

土与工程建筑有着密切的联系，工程中常将土作为地基（如房屋、水闸、码头、公路桥梁等）；或作为建筑材料（如土坝、路基、堤防等）；或作为建筑物周围环境（如隧道、涵洞、涵闸、运河及其他地下建筑物）。因此，土的性质对建筑物有着直接的影响。

## 三、土质学

土质学是属于地质学范畴的学科，是从土的成因与成分出发，研究土的工程性质及其本质与机理，是地质学观点和力学观点的有机结合，其理论性和实践性很强。土质学研究的内容主要包括以下几个方面：

- 1) 土的工程地质性质，包括物理性质、水理性质和力学性质，如干密度、干湿状况、孔隙特征、与水相互作用表现出的性质及在外力作用下表现出的变形和强度特征。
- 2) 土的工程地质性质的形成和分布规律；土的物质组成、结构构造对土的工程地质性质的影响。
- 3) 土的工程地质性质指标的测试方法和测试技术。
- 4) 土的工程地质分类。
- 5) 土的工程地质性质在自然或人为因素作用下的变化趋势和变化规律，预测这种变化对各种建筑物的危害。
- 6) 特殊土的工程地质性质。

## 四、土力学

土力学是属于工程力学范畴的学科，是运用力学原理，同时考虑到土作为分散系这个特征来求得量的关系，其力学计算模型必须建立在现场勘察和实测土的计算参数（即工程地质性质指标）的基础上，因此土力学也是一门理论性和实践性很强的学科。它研究的内容主要包括：土的物理力学性质、土中水的运动规律、土体中的应力、地基土的变形性质、地基土的抗剪强度和稳定性、土压力等。

## 五、土的工程应用

任何工程建筑都需要与土发生直接关系，如建造房屋建筑时，土作为建筑物的地基；修筑道路和水利堤坝时，土作为建筑材料；修建地下建筑时，土作为建筑物或构筑物的周围介质。

人类自远古以来就广泛利用土作为建筑地基和建筑材料。在长期的生产实践中，积累了丰富的土工知识和建造经验。古代许多伟大的工程，如我国的万里长城、京杭大运河、赵州桥，埃及的金字塔等的修建，都很好地体现了人类与土打交道的悠久历史，进行工程建设的丰富实践经验和高超的工程技术水平。但是，实践证明，许多建筑物和构筑物的事故都与土有关，且事故一旦发生，补救非常困难。如1955年始建的巴西某11层大厦，长25m、宽12m，支承在99根21m长的钢筋混凝土桩上。1958年大厦建成后，发现其一侧明显下沉。1月30日，该建筑物的沉降速度高达每小时4mm，晚8时许，大厦在20s内倒塌。后查明该大厦下有25m厚的沼泽土，而桩长仅有21m，未深入沼泽土下的坚固土层，倒塌是地基因产生整体剪切破坏所致。又如苏州名胜虎丘塔，共7层，高47.5m，砖砌，已建成1000多年。因塔位于倾斜基岩上，覆盖层一边厚3.8m，另一边厚5.8m，造成不均匀沉降，引起塔顶偏离中心线达2.31m（1978年），危及安全。20世纪80年代初采用桩排式地下墙及注浆法进行了托换。再如我国广深铁路K2+150段线路，该路段地处山涧流水地带，淤泥覆盖层较厚，通车后路基不断下沉。1975年后，严重地段每旬下沉量高达12~16mm，其他地段每旬下沉量为8~12mm。路基的下沉不仅增加了该段铁路的维修保养作业量，更严重威胁着铁路列车的安全营运。该路段后来采用高压喷射注浆法进行了路基土加固处理。

大量事故充分表明，为保证工程建筑的经济、安全，我们必须研究土作为建（构）筑物地基、建筑材料和周围介质时的应力、应变、强度和稳定问题。

## 六、土力学的发展

作为一门学科，土力学的发展历史远不如其他经典力学，但作为一门工程技术，其历史却是悠久的。土力学伴随生产实践的发展而发展，土力学的发展始终和工程建设紧密地联系在一起，它来源于工程实践，又服务于工程实践。其发展水平也被要求与各历史阶段的生产科学水平相适应。

土力学发展过程中，以下几个古典理论被认为是该学科的重要组成部分：

- 1) 1773年，法国科学家库仑（C. A. Coulomb）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动楔体理论。
- 2) 1856年，法国工程师达西（H. Darcy）研究了砂土的透水性，创立了反映砂土渗透

性的达西公式。

3) 1857年,英国学者朗肯(W. J. M. Rankine)从不同途径提出挡土墙土压力理论,对后来土体强度理论的发展起了很大的作用。

4) 1867年,捷克工程师文克尔(E. Winkler)提出铁轨下任一点的接触压力与该点的沉降成正比的假设。

5) 1885年,法国学者布辛涅斯克(J. Boussinesq)求得了半无限弹性体在竖向集中荷载作用下的应力和变形的理论解答,这些解答至今仍是研究土体受力和变形的重要基础理论。

6) 1900年,德国工程师(O. Mohr)提出了土的强度理论。

7) 1922年,瑞典学者费伦纽斯(W. Fellenius)为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析法。

8) 1925年,奥裔美国学者太沙基(K. Terzaghi)归纳并发展了以往的成就,发表了第一部土力学专著,比较系统地阐述了若干重要的土力学问题,提出了著名的有效应力原理。太沙基专著的问世,标志着近代土力学的开始,从此土力学成为一门独立的学科。

从1936年第一届国际土力学与基础工程学术会议在美国马萨诸塞州(麻省)坎布里奇召开以来,世界各国相继举办了各种学术会议,加强了国与国、地区与地区之间的交流。特别是近年来,在建筑、水利、道桥、港口等有关工程中,大量复杂的工程问题的逐一解决,为该学科积累了丰富的经验。同时,各国研制成功的工程勘察、试验与地基处理新设备,为土力学理论研究和地基加固提供了良好的条件。电子计算机的应用和试验测试技术自动化程度的提高,标志着该学科进入了一个新的发展时期。

土力学未来的发展趋势:一个模型,三个理论,四个分支。一个模型即本构关系模型;三个理论即非饱和土固结理论、土的液化破坏理论和土的渐进破坏理论;四个分支即理论土力学、计算土力学、试验土力学和应用土力学。

## 七、土质学与土力学的特点与学习方法

土质学与土力学首先是一门工程力学,因此,注重对土体自然物理现象的观察和描述是该学科的重要特点。土作为自然历史的产物,它的许多性质是人们无法预先了解的,必须客观地认识和评价土的基本特性,尤其是它区别于其他受力材料的性质,这是合理引入和运用其他学科知识的出发点和目标。

其次,土质学与土力学是一门理论性和实践性都很强的学科,要准确地模拟和概括土体的受力条件、施工过程和环境影响等,还存在许多困难。目前对很多问题的认识还依赖于土工测试技术,要通过试验观测,并经过合理简化来实现。但也不能忽略理论的重要性,实际上,经验的系统化和经典力学理论的借鉴,永远是该学科的重要组成部分和发展基础。

再次,土质学与土力学学科知识更新周期较短。随着与之相关的建筑行业的迅速发展,该学科不断面临新的问题,如基础形式的创新、地下空间的开发、软土地基的处理、新的土工合成材料的应用等。新技术、新设计方法的不断涌现,往往是实践先于理论,并促使理论不断更新和完善。

由于土的复杂性,应用土力学理论去解决实际问题时,通常受诸多条件的限制。学习土力学一般应注意运用以下几种基本方法:

1) 牢固而准确地掌握本课程的基本概念,尤其是掌握土的三相性、散粒性等特性,土的三相性是理解和掌握土的其他物理力学特性的基础。

2) 重点掌握理论公式的意义和应用条件,明确理论的假定条件,掌握其适用范围。

3) 注意综合利用土的知识 and 土力学理论解决地基实际问题。学习中即使是做练习题,也要注意习题中给定的条件在实际工程中的具体表现形式,改变这些条件可能导致哪些工程后果。

4) 重视土工试验技术,尽可能多动手操作,从实践中获取知识,积累经验,并能结合工程实际加以应用。

5) 重视地区经验,灵活运用地方性规范、规程和其他相关规定。

# 项目一 土的物质组成与结构



## 知识目标

**掌握：**土的粒组划分方法；颗粒分析方法；能通过土的级配曲线进行土的级配评价。

**理解：**土的基本特征，土体类型和特征；土中结合水对土体性质的影响，毛细水对土的工程性质的影响，封闭气体对土的工程性质的影响。

**了解：**土粒划分原则；土中水、土中气体的分类和物理状态；土的结构、构造及研究方法。



## 能力目标

能通过土的筛分试验进行粒组划分和绘制土的颗粒级配曲线，能利用土的级配曲线对土的级配进行评价。



## 重点与难点

**重点：**土的粒组划分原则、划分方法，土的颗粒级配评价，土的筛分试验，土中水、土中气体的特征及其对土性质的影响。

**难点：**如何进行土的粒组划分，通过筛分试验怎样精确地得到土的级配曲线，如何通过级配曲线正确地评价土的级配情况。

## 知识一 土的形成与类别



### 引导问题

什么是土，土是怎么形成的？土有哪些类别，各类土有什么特征？

土是地壳表层母岩风化后的产物，是各种矿物颗粒的集合体，包括岩石经物理风化崩解而成的碎块及经化学风化后形成的细粒物质，粗至巨砾、细至黏粒统称为土。土虽然是岩石风化后的产物，但具有一种区别于岩石的散粒性。正是由于这一基本特性，决定了土与其他工程材料相比具有压缩性大、强度低、渗透性大的特点。

### 一、土的形成与演变

土是完整坚硬的岩石经过风化、剥蚀等外力作用形成的碎块或矿物颗粒，直接沉积或经水流、风力或重力及冰川等作用的搬运，在适当的条件下沉积而成的松散堆积物。

由于形成土的母岩成分的差异，以及颗粒大小、形态的不同，在搬运过程中，矿物成分又进一步发生变化，在搬运和沉积过程中经过分选后，形成了在成分、结构、构造和性质上

有一定变化规律的土体。

总之，土的形成与演变经历了不同的作用，沉积于不同的作用阶段，土体就表现出不同的特点。

## 二、土的基本特征及成因类型

### (一) 土的基本特征

风化作用使岩石破碎，剥蚀作用将风化产物从母岩上剥离，通过不同的搬运方式将剥落物搬运和迁移，被搬运的物质在搬运的过程中遇到不同的环境，从搬运的介质中分离而沉积下来。由于成土的过程错综复杂，形成了各种成因的土，且土颗粒之间没有连接力、或连接力较弱，这就决定了土体具有多样性、多相性、散体性等特点。

### (二) 土的成因类型

土的形成要经历风化、剥蚀、搬运、沉积等作用过程。土的成因类型根据搬运和沉积情况一般可分为：残积土、坡积土、洪积土、湖积土、冲积土、海积土、冰积土和风积土。以下简介其中的几种。

#### 1. 残积土

残积土是残留在原地未被搬运的那一部分岩石风化剥蚀后的碎屑堆积物，其成分与母岩相同或相近，一般没有层理构造，均质性差，孔隙度较大，作为建筑物地基容易引起不均匀沉降。

#### 2. 坡积土

坡积土是高处的风化碎屑物在雨、雪水或自身重力的作用下搬运、沉积而成的山坡堆积物。它一般分布在坡腰或坡脚，其上部与残积土相接，厚度变化较大，在斜坡陡处厚度较薄，坡脚处较厚。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。此外，新近堆积的坡积土具有较高的压缩性。

#### 3. 洪积土

洪积土是指暂时性水流（如洪水）作用，将山区或高地大量的残积物、坡积物等搬运堆积在山谷中或山前平原上形成的堆积物。洪积土从近山到远山呈现由粗到细的分选特征，但由于每次洪流的搬运能力不同，使洪积土具有不规则交错层理。

#### 4. 湖积土

湖积土在内陆分布广泛，一般分为淡水湖积土和咸水湖积土。淡水湖积土分为湖岸土和湖心土两种。湖岸土多为砾石土、砂土或粉质砂土；湖心土主要为静水沉积物，成分复杂，以淤泥、黏性土为主，可见水平层理。咸水湖积土以石膏、岩盐、芒硝及碳酸盐岩类为主，有时以淤泥为主。

#### 5. 冲积土

冲积土是由河流流水的地质作用，将两岸基岩及其上部覆盖的坡积、洪积物质剥蚀后搬运、沉积在河流坡降平缓地带形成的沉积物。颗粒在河流上游较粗，向下游逐渐变细，分选性和磨圆度较好，呈现明显的层理构造。



### 单元思考

1. 土和岩石有何不同，土体形成可能经历哪些过程？
2. 土的形成条件对其性质有何影响？各类型的土有什么特征？

## 知识二 土的三相组成与结构

### 引导问题

土的组成部分有哪些，什么成分对土的性质起决定性的作用？什么是粒组，如何划分粒组？什么是土的颗粒级配，怎么表达？土中的水有哪些类型，对土的性质有什么影响？土的结构有哪些类型，它们各有什么特点？土体有哪些构造类型？

天然状态的土一般由固相、液相和气相三相组成，其中固相以土颗粒为主，构成了土的骨架，土骨架之间的孔隙被水和气体所填充。土中孔隙全部由气体所填充时，称为干土；孔隙全部由水所填充时，称为饱和土。饱和土和干土都是二相系。

### 一、土的固体颗粒

土的固相是土中最主要的组成部分，它由各种矿物成分组成，有时还包括土中所含的有机质。土粒的矿物成分不同、粗细不同、形状不同，土的性质也不同。

#### (一) 粒径级配

##### 1. 粒组及其划分原则

土颗粒的大小常以粒径来表示。土的粒径大小对土的性质有重要影响，粒径相近的土颗粒其矿物成分接近，所呈现出的物理力学性质基本相同。因此，通常将性质相近的土粒划分为一组，称为粒组。粒组之间的分界粒径称为界限粒径。

##### 2. 粒组划分方案

我国不同行业对粒组的划分略有不同，交通部（现交通运输部）颁布的《公路土工试验规程》（JTG E40—2007）和水利部颁布的《土工试验规程》（SL 237—1999）中粒组划分标准见表 1-1。

表 1-1 土的粒组划分

粒组统称	《土工试验规程》（SL 237—1999）		《公路土工试验规程》（JTG E40—2007）		
	粒组划分	粒组范围/mm	粒组划分	粒组范围/mm	
巨粒组	漂石（块石）组	>200	漂石（块石）组	>200	
	卵石（碎石）组	200~60	卵石（小块石）	200~60	
粗粒组	砾粒 （角砾）	粗砾	60~20	粗砾	60~20
		中砾	20~5	中砾	20~5
		细砾	5~2	细砾	5~2
	砂粒	粗砂	2~0.5	粗砂	2~0.5
		中砂	0.5~0.25	中砂	0.5~0.25
		细砂	0.25~0.075	细砂	0.25~0.075
细粒组	粉粒	0.075~0.005	粉粒	0.075~0.002	
	黏粒	<0.005	黏粒	<0.002	

### 3. 颗粒分析方法

土中各粒组质量占土粒总质量的百分数称为土的颗粒级配。颗粒级配是通过颗粒分析试验（简称筛分试验）测定的。常用的筛分试验方法有筛分法和密度计法两种。筛分法适用于粒径大于 $0.075\text{mm}$ 的粗粒土，密度计法适用于粒径小于 $0.075\text{mm}$ 的细粒土。

筛分法是将一定质量的风干土样倒入一组标准筛中进行筛分（图 1-1），称出各筛上土粒的质量，计算出各粒组的质量百分数。密度计法是将一定质量的风干土样倒入盛水的玻璃量筒中，将其搅拌成均匀的悬液；根据土颗粒的大小不同在水中沉降的速度也不同的特性，将密度计放入悬液中（图 1-2），记录 $1\text{min}$ 、 $5\text{min}$ 、 $30\text{min}$ 、 $120\text{min}$ 和 $1440\text{min}$ 时的密度计读数，然后计算出不同粒径及其小于该粒径土粒的质量百分数。

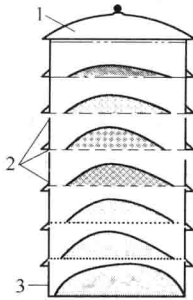


图 1-1 筛分法

1—筛盖 2—筛身 3—底盘

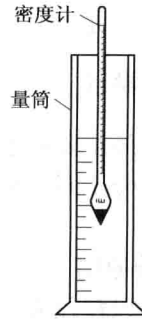


图 1-2 密度计法

若土中粗、细粒组兼有时，可将土样过 $0.075\text{mm}$ 的筛子，使其分为两部分。大于 $0.075\text{mm}$ 的土样用筛分法进行分析，小于 $0.075\text{mm}$ 的土样用密度计法进行分析。

### 4. 粒径级配表达

筛分试验的成果通常在半对数坐标系中点绘成一条曲线，称为土的颗粒级配曲线，如图 1-3 所示。图中曲线的纵坐标为小于某粒径的质量百分数，横坐标为用对数尺度表示的土粒粒径。因为土中的粒径通常相差悬殊，横坐标用对数尺度可以把粒径相差悬殊的粗、细粒的含量都表示出来。

土中各粒组的相对含量为小于两个分界粒径质量百分数之差。如图 1-3 中的曲线，对应各粒组的百分含量分别为：砾粒（ $60 \sim 2\text{mm}$ ）占 $100\% - 86\% = 14\%$ ；砂粒（ $2 \sim 0.075\text{mm}$ ）占 $86\% - 33\% = 53\%$ ；粉粒（ $0.075 \sim 0.02\text{mm}$ ）占 $33\% - 8\% = 25\%$ ；黏粒（ $< 0.02\text{mm}$ ）占 $8\%$ 。

**例 1-1** 黄河某滩区，取 $1000\text{g}$ 风干砂土样进行筛分试验，结果列于表 1-2（第 1 行、第 2 行）。试补充完整试验表格（表 1-2 第 3 行~第 5 行），并分析各粒组含量。

**解：**留在孔径为 $2.0\text{mm}$ 的筛上的土粒质量为 $100\text{g}$ ，则小于该孔径土粒质量为 $1000 - 100 = 900\text{g}$ ，小于该孔径土粒质量的百分数为 $900/1000 = 90\%$ ；留在孔径为 $1.0\text{mm}$ 的筛上的土粒质量为 $100\text{g}$ ，则小于该孔径土粒质量的百分数为 $(900 - 100) / 1000 = 80\%$ ；同样可求得小于其他孔径的土粒质量百分数并列于表 1-2（第 3 行、第 4 行）。同理可计算出各粒组的土粒质量百分数分别为砾 $10\%$ 、砂 $80\%$ （其中粗砂 $35\%$ 、中砂 $30\%$ 、细砂 $15\%$ ），细粒（包括粉粒和黏粒） $10\%$ 。



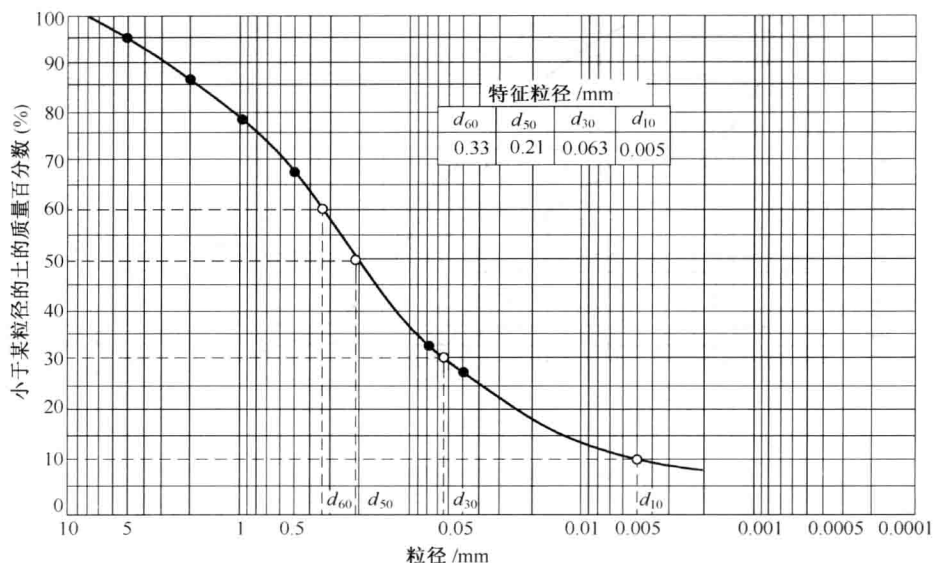


图 1-3 土的颗粒级配曲线

表 1-2 例 1-1 筛分试验结果

筛孔孔径/mm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.1	0.075	底盘
留筛质量/g	100	100	250	300	100	50	100
小于该孔径土粒质量/g	900	800	550	250	150	100	
小于该孔径土粒质量百分数 (%)	90	80	55	25	15	10	
粒径范围/mm	$d > 2.0$	$2 \geq d > 0.5$	$0.5 \geq d > 0.25$	$0.25 \geq d > 0.075$	$d \leq 0.075$		
各粒组土的质量百分数 (%)	10	35	30	15	10		

### 5. 颗粒级配曲线的应用

在颗粒级配曲线上, 可根据土粒的分布情况, 定性地判别土的颗粒均匀程度或级配情况。如果曲线的坡度是渐变的, 则表示土的颗粒大小分布是连续的, 这样的级配称为连续级配; 如果曲线中出现水平段, 则表示土中缺乏某些粒径的土粒, 这样的级配称为不连续级配。如图 1-4 中的曲线 C, 粒径在 1~2mm 之间曲线是水平的, 说明缺乏这部分粒径的土粒, 所以颗粒大小分布是不连续的。如果曲线形状平缓 (图 1-4 中的曲线 B), 土粒大小变化范围大, 表示土粒大小不均匀, 土的级配良好。级配良好的土, 粗细颗粒搭配较好, 粗颗粒间的孔隙有细颗粒填充, 易被压实到较高的密度, 因而渗透性和压缩性较小, 强度较大。如果曲线形状较陡 (图 1-4 中的曲线 A), 土粒大小变化范围窄, 表示土粒大小均匀, 土的颗粒级配不良。

颗粒级配常作为选择填筑土料的依据, 为了判断土的颗粒级配是否良好, 常用不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$  两个判别指标。

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