



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学

第二版

姚仰平 主编
汪仁和 徐新生 副主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学

TULIXUE

第二版

姚仰平 主编

汪仁和 徐新生 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在2004年第1版教育科学“十五”国家规划课题研究成果的基础上修订而成的。

本书共8章,包括土的物理性质和压实机理,渗流、流土和湿化,地基中应力计算,地基的沉降,土的抗剪强度及其参数确定,挡土墙上的土压力,地基承载力计算,边坡稳定分析等。

本书的编写是按照“从实践中来,到实践中去,介绍土力学的基本理论”的思路进行的,易读易懂,可作为高等院校土木工程专业及相关专业的本科教材,还可供相关专业有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学 / 姚仰平主编. —2版. —北京: 高等教育出版社, 2011.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-04-031001-6

I. ①土… II. ①姚… 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(2010)第232858号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 张玉海 封面设计 于涛 责任绘图 尹莉
版式设计 马敬茹 责任校对 杨健艺 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京四季青印刷厂

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16
印 张 15
字 数 260 000

版 次 2004年11月第1版
2011年1月第2版
印 次 2011年1月第1次印刷
定 价 23.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31001-00

高等学校工程应用型土建类系列教材编委会名单

主任委员：

苏 群（黑龙江工程学院）

副主任委员（按姓氏笔画排序）：

汤放华（湖南城市学院）

张建勋（福建工程学院）

周 云（广州大学）

周先雁（中南林业科技大学）

唐 勇（山东交通学院）

麻建锁（河北建筑工程学院）

黄双华（攀枝花学院）

委员（按姓氏笔画排序）：

万德臣（山东交通学院）

马石城（湘潭大学）

王永春（青岛理工大学）

王用信（哈尔滨工业大学华德应用技术学院）

王振清（河南工业大学）

王新堂（宁波大学）

司马玉洲（南阳理工学院）

申向东（内蒙古农业大学）

白宝玉（吉林建筑工程学院建筑装饰学院）

石启印（江苏大学）

刘海卿（辽宁工程技术大学）

刘锡军（湖南科技大学）

何培玲（南京工程学院）

余跃心（淮阴工学院）

张文福（大庆石油学院）

- 张志国 (内蒙古大学)
张国栋 (三峡大学)
张季超 (广州大学)
张 奎 (平顶山工学院)
张新东 (塔里木大学)
李晓目 (孝感学院)
李 斌 (内蒙古科技大学)
李 毅 (北华大学)
杨伟军 (长沙理工大学)
汪仁和 (安徽理工大学)
沈小璞 (安徽建筑工业学院)
肖 鹏 (扬州大学)
陈 伟 (攀枝花学院)
陈伯望 (湖南城市学院)
姚金星 (长江大学)
荀 勇 (盐城工学院)
贺国京 (中南林业科技大学)
赵风华 (常州工学院)
赵永平 (黑龙江工程学院)
赵明耀 (吉林建筑工程学院城建学院)
夏军武 (中国矿业大学徐海学院)
徐新生 (济南大学)
高福聚 (中国石油大学)
常伏德 (吉林建筑工程学院城建学院)
董 黎 (广州大学)
窦立军 (长春工程学院)
蓝宗建 (东南大学成贤学院)
臧秀平 (江苏科技大学)
蔡雪峰 (福建工程学院)
谭宇胜 (茂名学院)
薛志成 (黑龙江科技学院)
薛 姝 (湖南城市学院)

前 言

本书第一版（教育科学“十五”国家规划课题研究成果）按照“从实践中来，到实践中去，介绍土力学的基本理论”的思路编写完成，内容精练，形成了自己的特色。自2004年11月出版以来，得到了许多同行的认可和读者的欢迎，第二版被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本次修订根据第一版读者的反馈意见和编者在使用过程中所发现的一些不足进行了完善和修改。主要有以下几个方面：

1. 保持了原版教材强调基本概念、基本理论和基本原理的特点。
2. 加强了利用基本概念分析实际工程问题的内容，以加深读者对基本知识的掌握。
3. 适当增加了例题、习题和思考题。
4. 调整、修订了部分内容，以便于教学和学生自学。

本次修订工作仍由第一版编者完成，分工没有变化，最后的统稿工作由北京航空航天大学罗汀教授完成。

本次修订承北京交通大学赵成刚教授审阅，得到了北京航空航天大学、安徽理工大学、济南大学各级领导和同事们的关心、支持和帮助，在此向以上相关人员表示衷心的感谢！同时特别感谢高等教育出版社对本书的出版所给予的大力支持！

希望本次修订出版后能继续得到读者们的关注，并恳请对书中的不足提出批评和指正。

编 者
2010年8月

第一版总序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型本科人才培养体系，全国高等学校教学研究中心（以下简称“教研中心”）在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组（亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组）。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型本科人才培养工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。目前,教材建设工作存在的问题不容忽视,适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对一般院校,尤其是新办本科院校来说,起点较高,难度较大,内容较多,难以适应一般院校的教学需要。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部即将启动的“高等学校教学质量和教学改革工程”的实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

第一版前言

在土木工程建设中，土被广泛地用作各种建筑物、构筑物的地基。对土的各种特性的研究直接源于土木工程实践，土的基本理论的提出又服务于土木工程实践，并在实践中得到发展。例如，土力学中的流网理论、固结理论和强度理论等就分别针对着实践性很强的渗流、沉降、挡土墙上土压力、地基承载力和边坡稳定性等问题而提出的。所以，编者在确定本教材的编写指导思想时，结合教育科学“十五”国家规划的要求，经过反复讨论和思考，最终确定为“从实践中来，到实践中去，介绍土力学的基本理论”的编写方案。“从实践中来”就是讲清楚土力学基本理论的工程背景；“到实践中去”就是解决好土力学基本理论的应用问题，通过各种例题加深读者对基本概念的理解和掌握；“介绍土力学的基本理论”就是在保证基本知识体系完整的条件下，介绍土力学的基本概念、基本原理和基本计算方法，不追求大而全的体系。编者在编写中试图尽量按照这个思路来做，是否能达到预期的目标还有待读者们评判。

本书共分8章，绪论及第2、3、5章由北京航空航天大学姚仰平、罗汀编写；第1、7、8章由安徽理工大学汪仁和编写；第4、6章由济南大学徐新生、徐尧编写。北京交通大学赵成刚教授审阅了本书，并提出了许多宝贵的建议，在此表示诚挚的感谢。

在此，要感谢高等教育出版社对本书出版工作的大力支持，也要感谢北京航空航天大学罗佳、周安楠同学对本书出版所做的工作。由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请广大读者多提宝贵意见。编者将会非常感谢！并在今后的修订中给予考虑。

编 者

2004年7月23日

目 录

绪论	(1)
第 1 章 土的物理性质和压实机理	(3)
1.1 土的形成及颗粒特征	(3)
1.2 土的结构及工程性质	(10)
1.3 土的三相比例及物理性质指标	(12)
1.4 无粘性土的密实特性	(19)
1.5 粘性土的物理特性	(21)
1.6 地基土的工程分类	(25)
1.7 土的压实机理及工程控制	(31)
思考题	(39)
习题	(39)
第 2 章 渗流、流土和湿化	(41)
2.1 达西定律	(41)
2.2 流网理论简介	(50)
2.3 流土、管涌及其防治	(53)
2.4 非饱和土的湿化及其危害	(58)
思考题	(60)
习题	(60)
第 3 章 地基中应力计算	(62)
3.1 自重应力	(63)
3.2 基底的接触压力	(66)
3.3 各种荷载作用下地基内的附加应力	(70)
3.4 饱和土的有效应力原理	(83)
思考题	(83)
习题	(84)
第 4 章 地基的沉降	(85)
4.1 土的压缩性	(86)
4.2 地基最终沉降量的计算	(93)
4.3 单向固结理论	(109)
4.4 固结沉降随时间变化的预测	(113)
4.5 与固结相关的施工方法	(118)
思考题	(119)

习题	(119)
第 5 章 土的抗剪强度及其参数确定	(123)
5.1 土的破坏准则	(124)
5.2 土的抗剪强度参数确定	(129)
5.3 土的应力应变特性	(139)
5.4 有效应力路径及其在工程问题分析中的应用	(143)
思考题	(151)
习题	(151)
第 6 章 挡土墙上的土压力	(152)
6.1 主动土压力、被动土压力和静止土压力	(153)
6.2 朗肯土压力理论	(154)
6.3 库仑土压力理论	(165)
6.4 挡土墙变形与土压力分布	(169)
思考题	(171)
习题	(171)
第 7 章 地基承载力计算	(174)
7.1 地基的破坏模式	(175)
7.2 浅基础地基的临塑荷载和临界荷载	(177)
7.3 地基极限承载力计算	(182)
7.4 地基承载力公式的适用性	(196)
思考题	(200)
习题	(200)
第 8 章 边坡稳定性分析	(202)
8.1 表层滑动的稳定性分析	(204)
8.2 深层滑动的稳定性分析	(205)
8.3 水对边坡稳定的影响	(221)
思考题	(224)
习题	(225)
参考文献	(226)

绪 论

土是地壳表层母岩经受强烈物理、化学和生物风化作用的产物，是各种矿物颗粒的集合体。颗粒间的联结强度远比颗粒本身强度小，有的颗粒间甚至没有联结。一般情况下，土颗粒间有大量的孔隙，而孔隙中通常有水和空气。多孔性和散体性是土的最基本的结构特征。土区别于固体材料（如金属）和流体材料（如水），有以下三方面的重要特征：

（1）土通常是由土颗粒、水和空气组成的三相混合体。只含有土颗粒和水而没有空气的土称为饱和土。只含有土颗粒和空气而没有水的土称为干燥土。位于两者之间，由土颗粒、水和空气三者共同组成的土称为非饱和土。对于这样的多相混合体，不仅要考虑土体整体的性质和运动规律，还应考虑组成土体各相的性质和运动规律。本书中将要介绍的水在土体中的渗流规律及“有效应力”等内容就是由于土是多相混合体而产生的。

（2）土的本质在于它是离散的颗粒的集合体。这样的集合体既不是气体，也不是液体，也不是固体（土颗粒本身是固体），而是称之为“粒状体”的集合体。容易理解，砂土就是这样的粒状体的集合体。通常会产生这样的疑问，这样的材料怎么能支承得住构筑物呢？土体基本颗粒间的粘着力几乎不存在，只是依靠土颗粒间的摩擦力承受荷载，所以土的变形和破坏受“摩擦规则”的支配。土具有称之为“压硬性”的特性，即土所受的周围约束压力越大，就越密实，其模量也越大，抗剪强度也越高，表现出“越硬”的性状。

（3）土在受剪时，由于土颗粒之间在荷载作用下位置相互错动，随着剪切变形的增加会产生体积变化。在一定的周围约束压力下，比较松散的土会表现出体积压缩的特性；相反，比较密实的土则表现出体积膨胀的特性。这种受剪时土体积变化的特性称之为“剪胀性”。

土所表现出的以上特性是一般固体力学和流体力学研究对象所没有的，所以研究这种特殊材料的力学特性的学科——“土力学”就诞生了。自1925年太沙基发表第一本《土力学》著作以来，土力学已经发展成一门利用力学知识和土工试验技术来研究土的强度和变形规律的独立学科。该学科主要研究土的基本物理力学性质、土体中水的渗透规律、土体中各种条件下应力的计算、外荷载作用下土体的变形计算（考虑时间特点）、土的强度及土体的稳定性分析方法（地基承载力、土坡稳定性和作用于挡土墙上的土压力）等。

目前，土力学教材中介绍的内容属于经典土力学的范畴，一般认为其发展

的时间为 1925—1956 年，主要影响人物是太沙基。而科学土力学的开始，则以英国剑桥大学等从 1956 年起联合开展的关于土体应力应变特性的研究为标志。近一个世纪以来，土力学科技工作者在土的抗剪强度理论、土的应力应变模型、土的固结理论和土体稳定性分析等方面取得了有目共睹的发展，其成果在土木工程的实践中发挥了巨大的作用。成功运用土力学的原理解决复杂工程问题的例子比比皆是，比萨斜塔在 20 世纪 80 年代濒临倾覆，1990 年对游人关闭，经过世界范围内许多岩土工程专家十多年的抢修加固，先后采用底部加箍、北部堆载、设置拉锚、地基应力解除等措施，已于 2001 年纠偏成功。

在我国许多重大工程（如长江大桥、三峡工程、南水北调等）都涉及复杂的岩土工程问题。利用土力学知识解决其中的疑难问题，凝聚着几代岩土工程师们的智慧。

土是天然的产物，不是人类按照某种配方制造出来的。土体的不均匀性、各向异性等形成了土与钢材和混凝土等材料完全不同的特性。所以，在学习土力学的过程中，要把掌握定性的基本概念与定量的基本计算方法放在同等重要的地位。定量计算是工程设计的依据，而定性分析则是解决岩土工程疑难问题的常见方法。

由于自然地理环境的不同，地表层分布的土也是多种多样的。某些土类（如湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土及人工合成土等）还具有不同于一般土的特殊性质。针对其特殊的性质又形成了各种专门的土力学分支。当这些土类用作地基时，针对其特性还应采取与之相适应的工程措施。这些内容均没有列入本书，如果需要可参阅有关文献。

第 1 章

土的物理性质和压实机理

土的物理性质是土最基本的性质，随着土的组成不同和三相比例指标不同，土表现出不同的物理性质，比如土的干湿、轻重、松密和软硬等。而土的这些物理性质某种程度上又确定了土的工程性质。比如：松散、湿软地层，土的强度小、地基承载力低、压缩性大；反之，强度大、地基承载力高、压缩性小；土颗粒大（无粘性土），地层的渗透性大、地基稳定性好、承载力高；土颗粒细（粘性土），则地层的渗透性小，地基稳定性差；土颗粒大小不均匀（级配好）则土在动荷载作用下易于压实等。

本章主要介绍土的形成和组成，定性、定量地描述土的物质组成及密实性对工程性质的影响，其中包括土的三相组成分析、土的三相比例指标的定义、粘性土的界限含水率、砂土的密实度、常规土工试验标准及方法、地基土的工程分类方法和土的压实特性等。这些内容是学习土力学所必需的基本知识，是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的基础。

1.1 土的形成及颗粒特征

一、土的形成

地球表面的整体岩石，在大气中经受长期的风化、剥蚀后形成形状不同、大小不一的颗粒，这些颗粒在不同的自然环境下进行堆积，或者经搬运和沉积而形成沉积物，即形成了土。土是一种集合体。土粒之间的孔隙中包含着水和气体，因此土是一种三相体。

岩石和土在不同的风化作用下形成不同性质的土。风化作用主要有物理风化、化学风化和生物风化。

(1) 物理风化。岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀，温度、湿度变化的影响，产生不均匀的膨胀与收缩破碎，或者运动过程中因碰撞和摩擦破碎，只改变颗粒大小和形状，不改变矿物颗粒成分的现象，称为物理风化。只经过物理

风化形成的土是无粘性土，一般也称为原生矿物。

(2) 化学风化。母岩表面破碎的颗粒受环境因素的作用而产生一系列的化学变化，改变了原来矿物的化学成分，形成新的矿物——次生矿物。经化学风化生成的土为细粒土，具有粘结力，成分主要是粘土颗粒及大量的可溶性盐类。

(3) 生物风化。由植物、动物和人类活动对岩体的破坏称生物风化。其矿物成分没有发生变化。

二、土的三相组成

土是由固体、液体、气体三部分组成的三相体。固体部分为土粒，由矿物颗粒或有机质组成，构成土的骨架。骨架间有许多孔隙，可为水和气体所填充。这三个组成部分本身的性质及它们之间的比例关系和相互作用决定土的物理性质。

土的三相组成比例并不是恒定的，它随着环境的变化而变化。土的三相组成比例不同，土的状态和工程性质也随之各异。例如：

固体 + 气体（液体 = 0）为干土。此时粘土呈坚硬状态，砂土呈松散状态。

固体 + 气体 + 液体为湿土。是一种非饱和土，此时粘土多为可塑状态。

固体 + 液体（气体 = 0）为饱和土。此时粉细砂或粉土遇强烈地震，可能产生液化，而使工程遭受破坏；粘土地基受建筑荷载作用发生沉降需十几年甚至几十年才能稳定。

1. 固体矿物颗粒

土的固体矿物颗粒是土的三相组成中的主体，是决定土的工程性质的主要成分。固体矿物颗粒的矿物成分、大小、形状和组成情况是决定土的物理力学性质的主要因素。

(1) 土粒的成分。土粒的矿物成分可分为原生矿物和次生矿物。一般粗颗粒的砾石、砂等都是由原生矿物构成，成分与母岩相同，性质比较稳定，其工程性质表现为无粘性、透水性较大、压缩性较低，常见的如石英、长石和云母等。次生矿物主要是粘土矿物，成分与母岩完全不同，其性质较不稳定，具有较强的亲水性，遇水易膨胀。常见的粘土矿物有高岭石、伊利石、蒙脱石，其物理性质见表 1.1。

表 1.1 主要粘土矿物的物理性质

粘土矿物	形状	直径/ μm	厚度/ nm	单位质量表 面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	液限 $w_L/\%$	塑性指数 I_p
蒙脱石	薄片状	0.1~1	3	800	150~700	100~650
伊利石	板状	0.1~2	20~30	80	100~120	50~65
高岭石	六角形板状	0.3~4	50~2 000	15	50	20

图 1.1、图 1.2 分别表示粘土矿物晶片及粘土矿物的晶体构造。由图 1.2 可知, 蒙脱石结构单元联结较弱, 亲水性最大, 具有较强的吸水膨胀和失水收缩的特性。伊利石亲水性低于蒙脱石。高岭石结构单元的相互联结力较强, 水分子不易进入, 因此高岭石的亲水性最小。所以, 从地基的稳定性分析, 作为地基土高岭石最优, 蒙脱石最差。

(2) 颗粒级配。颗粒的大小通常用粒径来表示。土粒的粒径变化时, 土的性质也相应地发生变化。工程上将各种不同的土粒按粒径范围的大小分组, 即某一级粒径的变化范围, 称为粒组。土的各粒组的相对含量就称为土的颗粒级配。

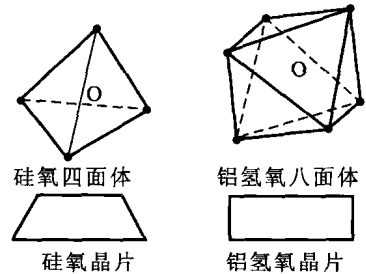


图 1.1 粘土矿物晶片示意图

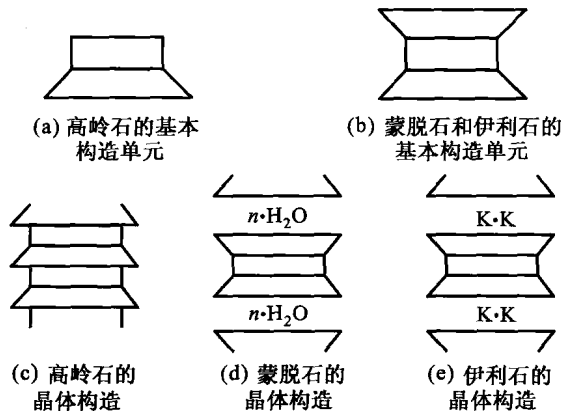


图 1.2 粘土矿物的晶体构造

常用的土的颗粒级配的表示方法有表格法、级配曲线法和三角坐标法。

① 表格法。以列表形式直接表达各粒组情况, 详见表 1.2。

表 1.2 土粒粒组划分

粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
漂石、块石颗粒		>200	透水性很大, 无粘性, 无毛细水
卵石、碎石颗粒		200~20	
圆砾、角砾 颗粒	粗	20~10	透水性大, 无粘性, 毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	10~5	
	细	5~2	

续表

粒 组 名 称		粒 径 范 围/mm	一 般 特 征
砂 粒	粗	2~0.5	易透水，当混有云母等杂质时透水性减小，而压缩性增大；无粘性，遇水不膨胀，干燥时松散；毛细水上升高度不大，随粒径变小而增大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.1	
	极细	0.1~0.075	
粉 粒	粗	0.075~0.01	透水性小，湿时稍有粘性，遇水膨胀小，干时稍有收缩；毛细水上升较快，上升高度较大，极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
粘 粒		<0.005	透水性很小，湿时有粘性和可塑性，遇水膨胀大，干时收缩显著；毛细水上升高度较大，但速度较慢

② 累计曲线法。是一种图示方法，通常用半对数坐标纸绘制，横坐标表示某一粒径常用对数，纵坐标表示小于某一粒径的土粒的质量百分含量，如图 1.3 所示。在级配曲线上， d_{60} 与 d_{10} 的比值称为不均匀系数 C_u ，即

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

(1.1)

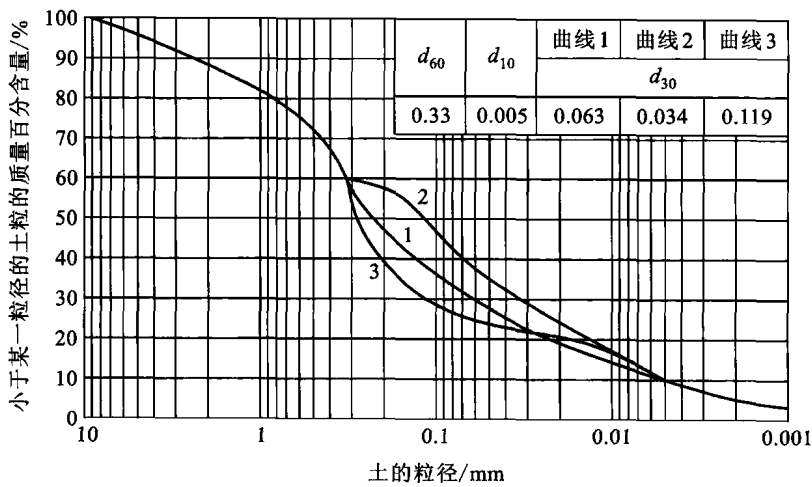


图 1.3 颗粒级配曲线

不均匀系数 C_u 为表示土颗粒组成的重要特征参量。 C_u 很小时曲线很陡，表示土粒均匀； C_u 很大时曲线平缓，表示土的级配良好。 $C_u > 5$ 的土称为不均匀土，反之为均匀土。

但是，如果粒径级配累计曲线斜率不连续，则在该曲线上的某一位置出现水