



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学与地基基础

主 编 张芳枝

副主编 史美东

主 审 茜平一

Higher Education



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学与地基基础

主 编 张芳枝

副主编 史美东

主 审 茜平一



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据高职高专培养技能型应用人才的教学目标,理论部分以够用为度,突出介绍实际应用条件下的计算方法和设计方法,以及采用土力学基础理论解决工程问题的途径,并注重了内容的完整性,力图让读者对土力学与地基基础的基本知识和应用有一个全面的了解。书中还附有针对性较强的计算例题和设计实例,希望读者不仅仅能全面学习和领会书中的内容,而且能够体会和掌握相关规范的应用方法。

本书内容共分10章,包括:土的物理性质及工程分类、土的渗透性和渗透问题、土中应力计算、土的压缩性和地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、挡土结构物上的土压力、土坡稳定分析、天然地基上浅基础设计、桩基础与其他深基础、软弱地基及其处理。各章均附有相应的思考题、习题和答案。部分章节可作为课外的参考内容。

本书可作为土建、水利、交通、冶金、地质等有关专业老师、学生以及相关人员的教材和参考用书,同时还可作为各类工程技术人员的进修读物和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础 / 张芳枝主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-5084-7552-3

I. ①土… II. ①张… III. ①土力学—高等学校: 技术学校—教材②地基—基础(工程)—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第119581号

书 名	普通高等教育“十一五”国家级规划教材 土力学与地基基础
作 者	主编 张芳枝 副主编 史美东 主审 茜平一
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 391千字
版 次	2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书根据高职高专水利类和土建类专业人才培养目标、教学理念和要求,结合当前水利工程和土木工程发展的实际情况,参照最新修订的《土工试验规程》(SL 237—1999)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)以及其他岩土工程和水利工程的新规范编写而成。

“土力学与地基基础”是水利工程和土木工程专业的一门主要专业课程,编者根据多年从事高职高专水利工程和土木工程专业教学的经验,针对高职高专层次的人才培养要求,理论基础部分的编写以够用为度,删繁就简,并注重内容的准确性和完整性,让读者对土力学与地基基础的内容有一个比较全面的了解。应用部分突出工程实用性,契合高职高专以培养技能型应用人才为主的教学目标,参照最新规范配合有针对性较强的计算例题和小型设计实例,便于读者学习参考。本书也适当介绍了一些地基基础的新发展。

根据课程要求和特点,书中每章后附有思考题和习题,计算习题附有答案,基础设计习题附有参考答案,以便在教学中加强对学生的应用能力训练。

本次编写考虑了教材的普及性和适用性,力求使本书适用于各类工程技术人员参考,并作为相应层次继续教育的参考书。

本书共分10章,编写分工如下:张芳枝(广东水利电力职业技术学院副教授)编写了绪论、第2章、第3章、第5章、第7章,史美东(浙江水利水电高等专科学校副教授)编写了第1章、第4章、第9章,符策简(广东水利电力职业技术学院高级工程师)编写了第8章、第10章,吴煌峰(广东水利电力职业技术学院讲师,工程师)编写了第6章,全书由张芳枝统稿、修改,茜平一(广东水利电力职业技术学院教授,武汉大学博士生导师)主审。节中标“*”的章节为选修内容。

此外,广东水利电力职业技术学院的王绵坤老师参与了部分习题的

解答，马利嘉老师和王仙芝老师参与了部分插图的制作与修改工作，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不当之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2010年4月

目 录

前言

绪论	1
第一章 土的物理性质及工程分类	5
第一节 土的组成与土的结构构造	5
第二节 土的物理性质指标	11
第三节 土的物理状态指标	15
第四节 土的压实性	19
第五节 土(岩)的工程分类	21
思考题	24
习题	25
第二章 土的渗透性和渗透问题	27
第一节 达西定律	27
第二节 渗透系数及其确定方法	29
第三节 渗透力和渗透变形	32
第四节 渗流工程问题与处理措施	36
思考题	38
习题	38
第三章 土中应力计算	40
第一节 土中自重应力	40
第二节 基底压力	42
第三节 地基中的附加应力	45
思考题	57
习题	57
第四章 土的压缩性和地基沉降计算	59
第一节 土的压缩性	59
第二节 地基最终沉降量计算	62
第三节 饱和土地基沉降与时间关系计算	74
第四节 建筑物沉降观测与地基变形允许值	79
思考题	82
习题	82

第五章 土的抗剪强度与地基承载力	84
第一节 土的抗剪强度与极限平衡条件	84
第二节 土的剪切试验方法	87
第三节 不同排水条件时的剪切试验成果	92
第四节 地基破坏模式与变形阶段	95
第五节 按塑性区开展深度确定地基承载力	97
第六节 浅基础地基的极限承载力	99
思考题	104
习题	105
第六章 挡土结构物上的土压力	106
第一节 土压力的种类及静止土压力计算	106
第二节 朗肯土压力理论	108
第三节 几种常见情况的土压力	112
第四节 库仑土压力理论	114
第五节 重力式挡土墙设计	118
思考题	124
习题	124
第七章 土坡稳定分析	125
第一节 无黏性土坡的稳定分析	125
第二节 黏性土土坡的稳定分析	127
第三节 土坡稳定性分析中的一些问题	132
思考题	135
习题	135
第八章 天然地基上浅基础设计	136
第一节 浅基础设计的基本规定	136
第二节 浅基础的类型	138
第三节 基础埋置深度的选择	142
第四节 地基基础计算	144
第五节 无筋扩展基础设计	155
第六节 扩展基础设计	160
第七节 梁板式基础设计	170
第八节 减轻非均匀沉降的措施	182
思考题	185
习题	186
第九章 桩基础与其他深基础	188
第一节 概述	188
第二节 单桩竖向承载力	192

第三节	复合基桩竖向承载力	198
第四节	单桩水平承载力	199
第五节	桩基础设计	202
第六节	其他深基础简介	219
思考题		223
习题		224
大型练习		224
第十章	软弱地基及其处理	225
第一节	软弱土种类和性质	225
第二节	机械压实法	226
第三节	强夯法和强夯置换法	227
第四节	换填垫层法	231
第五节	预压法	235
第六节	挤密法和振冲法	241
第七节	化学加固法	247
思考题		253
参考文献		254

绪 论

一、土力学、地基与基础的含义

1. 土力学

土是地壳岩石经受强烈风化的天然历史产物，是各种矿物颗粒的集合体。土由固体颗粒、水和空气三相组成，包括颗粒间互不联结、完全松散的无黏性土和颗粒间虽有联结、但联结强度远小于颗粒本身强度的黏性土。土具有颗粒性、孔隙性、多样性、透水性、压缩性、易变性、可移动性等特点。

土力学是用力学的基本原理和土工测试技术，研究土的物理性质以及受外力发生变化时土的应力、变形、强度和渗透等特性及其规律的一门学科，即研究土的工程性质和在力系作用下土体性状的学科。一般认为，土力学是工程力学的一个分支，但由于土具有复杂的工程特性，因此，目前在解决土工问题时，尚不能像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式，而必须借助经验、现场试验以及室内试验辅以理论计算。所以，土力学是一门强烈依赖于实践的学科。

2. 地基与基础

建、构筑物的全部荷载均由其下的地层来承担。受建、构筑物影响的那一部分地层称为地基（指支承基础的土体或岩石）；建、构筑物中将上部结构所承受的各种荷载传递到地基上的结构组成部分称为基础。当地基由两层以上土层组成时，通常将直接与基础接触的土层称为持力层，其下的土层称为下卧层。上部结构、基础与地基的相互关系如图 0-1 所示。

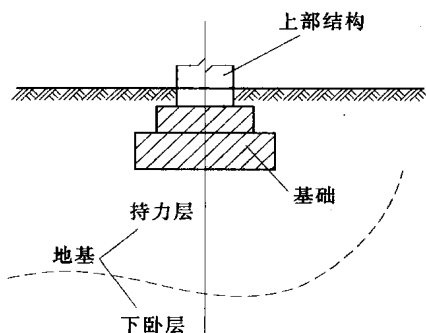


图 0-1 上部结构、地基与基础示意图

天然土层可以作为建筑物地基的称为天然地基；需经人工加固处理后才能作为建筑物地基的称为人工地基。基础有多种型式，通常把相对埋深不大、采用一般方法与设备施工的基础称为浅基础，如单独基础、条形基础、筏板基础、箱形基础、壳体基础等；而把基础埋深较大且需借助于特殊的施工方法才能将建筑物荷载传递到地表以下较深土（岩）层的基础称为深基础，如桩基础、墩基础、沉井基础、地下连续墙等。

为保证建筑物的安全，地基应满足以下要求：

- (1) 地基应有足够的强度。即作用于地基上的荷载（基底压力）不超过地基的承载力，防止地基土产生剪切破坏或失稳。
- (2) 地基不能产生过大的变形。控制基础沉降不超过允许值，防止建筑物产生过大的沉降或不均匀沉降而影响正常使用。



二、土力学与地基基础的重要性

土力学的原理和方法可用来估算土与建筑物或构筑物之间的相互作用,因而成为基础工程、堤坝、支挡结构、隧道、海港、矿山等工程设计的主要依据。地基和基础是建筑物或构筑物的根基,属于地下隐蔽工程,质量事故不易发现,一旦出现则很难补救或无法挽回,所以地基基础勘察、设计和施工质量直接影响建筑物或构筑物的安全。由于地基土复杂多变、施工难度大、工期长、劳动力消耗高,所以地基基础造价比较高,一般占工程总造价的20%~30%,相应的施工工期约占建筑总工期的20%~25%。因此地基基础的勘察、设计和施工对建筑工程影响很大。

地基和基础的质量事故主要体现在以下几个方面。

1. 变形问题

著名的意大利比萨斜塔和我国的苏州虎丘塔所发生的塔身严重倾斜,就是地基非均匀沉降所致。意大利比萨斜塔自1173年9月8日动工,至1178年建至第4层中部、高度29m时,因塔明显倾斜而停工。94年后,1272年复工,经6年时间建完第7层,高48m,再次停工中断82年。1360年又开始在塔顶建造钟楼顶阁,至1370年竣工,前后历经近200年。该塔共8层,高55m,全塔总荷重145000kN,相应的地基平均压力约为50kPa。地基持力层为粉砂,下面为粉土和黏土层。由于地基的不均匀下沉,塔向南倾斜,南北两端沉降差1.8m,塔顶离中心线已达5.27m,倾斜 5.5° ,成为危险建筑。我国苏州虎丘塔建于959~961年,为七级八角形砖塔,塔底直径13.66m,塔身高47.5m,塔重63000kN。1978年,塔顶位移2.3m,塔的重心偏离基础轴线0.924m。1978年6月开始对地基加固,1983年5月完成,地基沉降趋于稳定。

2. 强度问题

建于1941年的加拿大特朗斯康谷仓,由于地基强度破坏而发生了整体滑动,是建筑物失稳的典型例子,如图0-2所示。加拿大特朗斯康谷仓,南北长59.44m,东西宽23.47m,高31.00m。基础为钢筋混凝土筏板基础,厚61cm,埋深3.66m。谷仓1911年动工,1913年秋完成。谷仓自重20000t,相当于装满谷物后总重的42.5%。1913年9月装谷物,10月17日至31822m³时,发现谷仓1h内沉降达30.5cm,并向西倾斜,24h后倾倒,西侧下陷7.32m,东侧抬高1.52m,倾斜 27° 。事故的原因是:设计时未对谷仓地基承载力进行调查研究,而采用了邻近建筑地基352kPa的承载力,事后1952年的勘察试验与计算表明,基础下埋藏有厚达16m的软黏土层,该地基的实际承载力为193.8~276.6kPa,远小于谷仓地基破坏时329.4kPa的地基压力,地基因超载而发生强度破坏。

3. 渗透问题

洪湖长江干堤八十八潭,1998年发生溃口险情就与渗透破坏有关。洪湖长江干堤八十八潭险段地形平坦,地面高程25m左右,堤外侧滩较窄,堤内侧为燕窝镇政府所在地,房屋密集,并有些渊塘分布。1998年汛期,该堤段距堤内脚55~320m处水塘内发生6孔管涌,管涌直径0.05~0.55m,7月12日发生溃口险情。该溃口险情系因堤基的第三层细砂层和第五层粉细砂层中的渗流顶穿堤内侧上覆土层薄弱处而引起的渗透变形破坏。

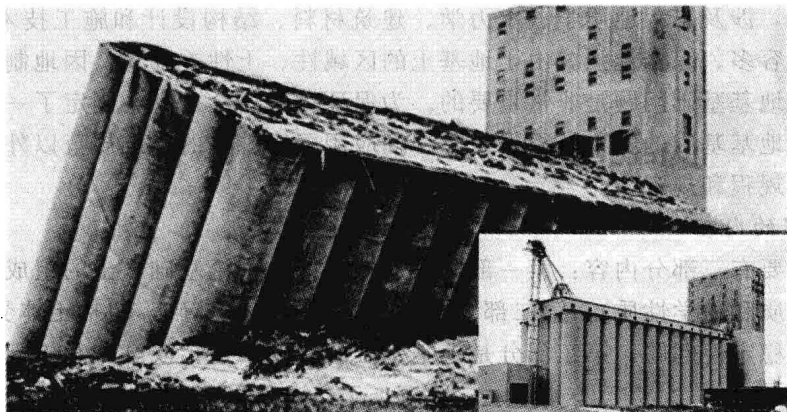


图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓

三、本学科发展概况

作为工程技术,基础工程是一项古老的工艺。只要建造建筑物,注定离不开地基和基础,因此,作为一项工程技术,基础工程的历史源远流长。但在现代社会以前,人们只能依赖于实践经验的不断积累和能工巧匠的技艺更新来发展这项技术,限于当时生产力的发展水平,基础工程还未能提炼成为系统的科学理论。因此,作为应用科学,基础工程又是一门年轻的学科。

作为本学科理论基础的土力学的发展历史可以划分为古典土力学和现代土力学两个阶段:

1773 年,法国的 Coulomb 提出砂土的抗剪强度公式和挡土墙土压力的刚性滑动楔体理论。

1855 年,法国的 Darcy 提出了土的层流渗透定律。

1857 年,英国的 Rankine 提出了挡土墙土压力塑性平衡理论。

1885 年,法国的 Boussinesq 求得了弹性半空间表面竖向集中力作用时的应力、应变的理论解答。

1915 年,由瑞典的 Petterson 首先提出,后由瑞典的 Fellenius 等人进一步发展的土坡整体稳定分析的圆弧滑动面法。

1920 年,法国的 Prandtl 提出的地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式。

1925 年,美国 Terzaghi 出版了第一部土力学专著,比较系统地阐述了土力学的主要理论。该专著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。

1936 年以来,已召开了十几届国际土力学和基础工程会议。随着现代科技成就在该领域的逐步渗透,试验技术和计算手段有了长足进步,从而推动了该门学科的发展。时至今日,土木、水利、道桥、港口等有关工程中大量复杂的地基与基础工程问题的逐一解决,为该门学科积累了丰富的经验。当然,由于土的性质的复杂性,土力学与地基基础还没有成为具有严密理论体系的学科,还需要不断地实践和研究。

四、本课程的特点和内容

1. 本课程的特点

本课程是一门重要的专业核心课程,可分为土力学和基础工程两个部分,具有较强的



理论和实践性,涉及工程地质学、水力学、建筑材料、结构设计和施工技术等领域,知识面广、内容多、综合性强。由于地基土的区域性、土性差异大,因地制宜,密切结合工程实际处理地基基础问题是非常重要的。为保证工程安全可靠,制定了一系列国家标准规范,但由于地基基础的实践性很强,除合理应用国家规定的标准规范以外,还需灵活应用地区规范、规程和规定。

2. 本课程的内容

本课程主要有三部分内容:第一部分是地基基础的理论基础,土的组成、分类、基本性质(物理性质和力学性质);第二部分是地基基础的应用基础,包括土体受力后的应力、强度、变形与稳定性问题;第三部分是地基基础的实践,包括浅基础和桩基础设计、软弱地基处理。

五、本课程的学习要求及建议

1. 学习要求

- (1) 掌握土的物理性质和力学特性。
- (2) 掌握常规土工试验的理论与操作技术。
- (3) 掌握土的应力、强度、变形与土压力计算等土力学基本原理。
- (4) 掌握浅基础和熟悉桩基础设计方法,能分析和解决地基基础的工程问题。

2. 学习建议

本课程的学习应以能力实现为目的,注意理论与实践相结合,善于分析、勤于总结。

(1) 理论学习。掌握理论公式的意义和应用条件,明确理论的假定条件,掌握理论的适用范围。

(2) 试验技能。熟悉测试土的物理性质和力学性质的基本手段;重点掌握基本的土工试验技术,尽可能多动手操作,从实践中获取知识、积累经验。

(3) 实践技能。经验在工程应用中是必不可少的,工程技术人员要不断从实践中总结经验,以便能切合实际地解决工程实际问题。

第一章 土的物理性质及工程分类

第一节 土的组成与土的结构构造

一、土的形成

土的物理力学性质与它的形成方式及形成后的历史有关，对土的成因的了解有助于预测它的大致成分、结构和性质。

(一) 风化作用

自然界中的土是由岩石经过漫长的地质年代，在各种复杂的自然因素和地质作用下经过长期风化、剥蚀、搬运、沉积作用而形成的松散的沉积物。

1. 物理风化

地壳表层的岩石长期暴露在大气中，经受自然界的温度变化、冻融循环、波浪冲击、地震等引起的物理作用使岩石逐渐崩解，碎裂成大小、形状不同的碎块，这个过程称为物理风化。

2. 化学风化

岩体或岩石物理风化后的产物与空气、各种水溶液相互接触，发生化学反应，使岩石进一步碎裂，并使母岩成分发生变化，产生了黏土矿物、铝铁氧化物和氢氧化物等次生矿物。

3. 生物风化

动植物和人类活动对岩石的破坏，称为生物风化，如植物根系的生长对岩石的破坏，人类开采矿山、修铁路、修隧道、劈山修公路等活动。

(二) 土的沉积类型

土在形成过程中，由于风化、搬运、沉积的条件不同，具有各种各样的成因，不同成因类型的土具有各自的分布规律和基本特征。

1. 残积土

指岩石风化后产生的碎屑未被搬运，残留于原地的堆积物。这种土常出现在宽广的分水岭地带，在平缓的山坡和低洼的谷地也有一定的分布。

2. 坡积土

指高处岩石风化后的产物在重力、水流的作用下，沿斜坡向下移动，沉积在较平缓的斜坡上或坡脚处而形成的堆积物。坡积土自坡面至坡脚，颗粒由粗到细，表现出轻微的分选性，其矿物成分与下伏岩石无关。

3. 洪积土

指山洪暴雨和大量融雪形成的暂时性洪水，把大量残积土、坡积土剥蚀、搬运到山谷冲沟出口或山前倾斜平原沿途堆积下来的土。



4. 冲积土

指江河流水的地质作用剥蚀两岸的基岩和沉积物，经搬运和沉积在河流坡降的平缓地带形成的堆（沉）积物。冲积土中，河道淤塞沉积物表面变干后易形成硬壳层，上部可能被河漫滩沉积物覆盖，下部的黏土依然很软，作建筑物地基时在现场勘测中需要注意。

5. 湖积土

指在湖泊、沼泽等极为缓慢的水流或静水条件下沉积的土，内部常含有机物，成为具有特殊性质的土。湖泊若逐渐淤塞，则可演变成沼泽，形成沼泽土。基本特征是：含水量极高（可达百分之百），透水性很低，压缩性很高，承载力很低，不适宜于作为永久性建筑的地基。沼泽土中充分腐化的土称为腐殖土，未完全腐化还保留有植物残余物的土称为泥炭土。

6. 海积土

指由水流挟带到海洋环境中沉积起来的土，颗粒较细，表层土质松软，工程性质较差。

7. 风积土

由风力搬运形成的堆积物称为风积土。风积土常见的有黄土和砂丘。我国西北地区广泛分布的黄土就是一种典型的风积土。黄土干燥时由于土粒粒间有胶结作用，其胶结强度较大，有较大的承载力和较小的变形，但遇水后其结构迅速破坏，强度大大削弱，发生显著的附加沉降，称为湿陷。

8. 冰积土

冰川活动有极大的搬运能力，在冰川融化过程中发生沉积作用形成冰积土。

二、土的特点

土的形成过程的多样性和复杂性决定了土和其他建筑材料相比具有特殊的物理力学性质，具有它自身的特点。

（一）碎散性

岩石经风化作用变成了碎散的颗粒，颗粒之间连接较弱，存在大量孔隙，可以透水和透气。受到外力作用孔隙的大小还会变化，透水、透气的性能也随之改变，说明土的性质不是一成不变的。

（二）多相性

自然界的土往往是由固体颗粒以及颗粒之间孔隙中的水和气组成的，称为三相体

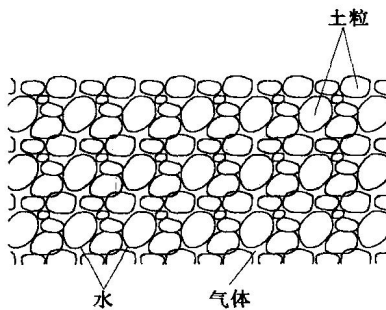


图 1-1 土的三相体系

系（图 1-1）。三相组成各部分的性质以及它们之间的比例关系和相互作用决定了土的物理力学性质。同一地点的土体，它的三相组成的比例不是固定不变的，天气的晴雨、季节变化、温度高低、地下水的升降、建筑物荷重作用等，都会使土的三相之间的比例发生变化。

（三）自然变异性

由于土的成因不同，自然界中的土呈现多样性。即使在同一场地，不同深度处土的种类和性质也可能不相同。在同一土层中，沿水平方向土的性质也会发生改



变, 甚至在同一位置的土, 性质也随方向而异。如沉积土一般竖直方向的透水性小, 水平方向的透水性大。

三、土的三相组成

土与连续的固体物质不同, 它是一种松散颗粒堆积物, 是固体颗粒、水、气的混合物, 常称为三相体系。其中固体颗粒称为固相, 土颗粒之间互相连接、架叠构成土的骨架, 称土骨架。土骨架间布满相互贯通的孔隙, 孔隙中的水称为液相, 孔隙中的气体称为气相。当孔隙完全被水充满时称饱和土, 饱和土只有固相和液相两相, 如地下水位以下的土。当孔隙中一部分是水, 一部分是气体时, 称非饱和土(湿土), 如地下水位以上地面以下一定深度内的土。当孔隙中没有水, 完全充满气体时, 称为干土, 如土工试验中经烘箱烘干的土。各相的性质及相对含量的大小直接影响土体的性质, 因此要了解土的工程性质, 首先必须研究土的三相组成。

(一) 土的固相

1. 土的矿物成分

土的矿物成分主要取决于母岩的成分及其所经受的风化作用。矿物成分不同, 其土的性质也不同, 尤其对细粒土性质的影响最为显著。

(1) 原生矿物。原生矿物是岩石经物理风化后破碎而成的颗粒, 其母岩矿物成分不变, 如石英、长石、云母等。石英和长石呈粒状, 强度很高, 是砾石、砂等无黏性土的主要矿物成分。云母呈薄片状, 强度较低, 压缩性大, 通常细砂及粉砂含有较多云母。

(2) 次生矿物。次生矿物是岩石经化学风化后形成的颗粒, 其矿物成分经化学作用形成了新的矿物, 如蒙脱土、伊利土、高岭土等。黏土矿物是组成黏性土的重要成分, 颗粒很细, 呈片状或针状, 具有胶体特性, 亲水性强。土中含黏土矿物愈多, 则土的黏性、塑性和胀缩性也愈大。不同类型的黏土矿物其亲水性和胶体特性的强弱也有差异, 其强弱的顺序为: 蒙脱土>伊利土>高岭土。

(3) 有机质。风化作用的进一步发展往往有生物作用参与, 使土中增加了有机成分。有机成分是动、植物的残骸腐烂分解所造成的, 根据腐烂分解程度分为泥炭和腐殖质。有机质具有较强的亲水性, 压缩性大, 强度低, 是土中的有害物质成分。土中的有机质含量过多, 将对土产生不良影响。因此选择筑坝土料时, 对有机含量有一定限制, 一般认为不宜超过 5%, 对防渗料应小于 2%。

2. 粒组的划分

自然界中的土是由无数大小不同、形状各异且变化悬殊的土颗粒组成的。土颗粒的大小常以粒径表示, 粒径由粗到细逐渐变化时, 土的性质相应地发生变化。粒径大小在一定范围内的土, 其矿物成分和性质都比较接近。工程上通常将工程性质相近的一定粒径范围内的土粒划分为一组, 称为粒组。

目前, 对粒组的划分, 各个国家, 甚至同一国家的不同行业部门都有不同的规定, 国内外尚无统一的粒组划分方法。表 1-1 表示国内常用的土粒粒组划分标准及各粒组的主要特征。



表 1-1

土粒的粒组划分

粒组统称	粒组名称		粒径范围 (mm)	一般特征
巨粒	漂石或块石颗粒		>200	透水性很大, 无黏性, 无毛细水
	卵石或碎石颗粒		200~60	
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	60~20	透水性大, 无黏性, 毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	20~5	
		细	5~2	
	砂粒	粗	2~5	易透水, 无黏性, 遇水不膨胀, 干燥时松散, 毛细水上升高度不大
		中	0.5~0.25	
		细	0.25~0.075	
细粒	粉粒		0.075~0.005	透水性小, 湿时稍有黏性, 遇水膨胀小, 干时稍有收缩, 毛细水上升高度较大, 易冻胀
	黏粒		≤ 0.005	透水性很小, 湿时有黏性、可塑性, 遇水膨胀大, 干时收缩显著, 毛细水上升高度大, 但速度较慢

3. 颗粒分析试验

颗粒分析试验方法分为筛析法和比重计法。筛析法适用于粒径 0.075~60mm 的土, 试验时取一定质量风干、分散的代表性土样通过一套自上而下孔径由大到小的标准筛, 经振筛机充分振动, 将粒径不同的土粒分开, 求出留在每个筛上土重的相对含量, 即可求得各个粒组的相对含量。密度计法适用于粒径小于 0.075mm 的土, 试验时将土放在水中分散制成均匀悬浮液, 根据大小不同的土粒在静水中下沉速度不同的原理, 把不同粒径的土粒区分开来, 并算出各粒组的百分数。详见土工试验操作规程。

4. 颗粒分析结果评价

土的性质主要取决于土中不同粒组的相对含量。颗粒级配指以土中各个粒组的相对含量 (各粒组占土粒总量的百分数) 来表示土粒的组成情况。根据颗粒分析试验结果可以绘制半对数表达的颗粒级配曲线, 其横坐标表示粒径, 由于土粒粒径相差悬殊, 宜采用对数坐标表示; 纵坐标表示小于或大于某粒径的土重的累计百分含量 (图 1-2)。

由颗粒级配曲线的坡度可以大致判断土的均匀程度或级配是否良好。如果曲线较陡, 表示粒径大小相差不多, 土粒较均匀, 级配不良; 反之曲线平缓, 则表示粒径大小相差悬殊, 土粒不均匀, 即级配良好。为了定量描述土粒的级配情况, 工程中常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 反映土颗粒的不均匀程度。

(1) 不均匀系数 C_u 。限定粒径 d_{60} 和有效粒径 d_{10} 的比值称为不均匀系数, 即

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

式中 d_{60} 、 d_{10} ——小于某粒径的土粒质量占总质量 60%、10% 时相应的粒径, d_{10} 称为有效粒径, d_{60} 称为限定粒径。

不均匀系数的大小可用来衡量土粒的均匀程度。一般土的不均匀系数越大, 表示级配

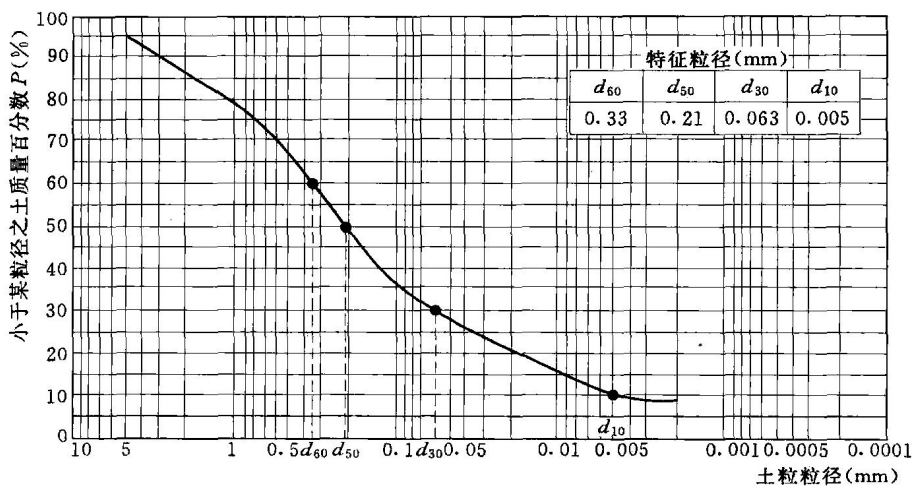


图 1-2 颗粒级配曲线

曲线越平缓，土颗粒大小分布范围就越宽广。而不均匀系数越小，表示级配曲线越陡，土颗粒分布范围越狭窄。工程上常把 $C_u < 5$ 的土看作是均粒土，属级配不良； $C_u > 10$ 的土，为不均匀土，属级配良好。

(2) 曲率系数 C_c 。土的颗粒级配累积曲线的斜率是否连续可用曲率系数 C_c 表示，表达式为

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

式中 d_{30} ——小于某粒径的土粒质量占总质量 30% 时相应的粒径， d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 可从颗粒级配曲线上得到。

《土的分类标准》(GBJ 145—90) 规定：对于纯净的砾类土、砂类土，当 $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 时，为良好级配砾或良好级配砂；不能同时满足上述条件时，可以判断为级配不良。颗粒级配可以在一定程度上反映土的某些性质。级配良好的土，粗颗粒间的孔隙易被较细的颗粒所填充，土的密实度较好，透水性、压缩性较小，作为地基土，强度和稳定性也较好，可用作堤坝或其他土建工程的填方土料，比较容易获得较大的密实度。

(二) 土的液相

1. 结合水

受电分子引力的作用吸附在土粒表面的一层水，称为结合水。结合水因离土粒表面远近不同，又可分为强结合水和弱结合水。

(1) 强结合水。紧靠土粒表面的结合水称为强结合水。水的性质接近固体，不传递静水压力，对土的工程性质影响甚小。

(2) 弱结合水。指存在于强结合水外围的结合水。它不能传递静水压力，呈黏滞状态，可发生变形，可在颗粒间转移。弱结合水对黏性土的性质影响很大，也是黏性土在某一含水量范围内表现出可塑性的根本原因。

2. 自由水

位于结合水以外的水称为自由水，离土粒较远，按其移动所受的作用力不同，又可分为