

面向二十一世纪高等院校本科专业教材

土力学

雷伟 主编

吉林科学技术出版社

面向二十一世纪高等院校本科专业教材

土 力 学

雷 伟 主编

责任编辑:李 梁

封面设计:创意广告

*

吉林科学技术出版社出版、发行

长春市东文印刷厂

*

787×1092 毫米 16 开本 18 印张 450 000 字

2004 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 2 次印刷

定价:35.00 元

ISBN 978-7-5384-2776-9

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换。

社址 长春市人民大街 4646 号 邮编 130021

发行部电话 0431-85677817 85635177

电子信箱 JLKJCBS@public.cc.jl.cn

传真 0431-85635185 85677817

内 容 摘 要

本书系统地介绍了土质学与土力学的基本原理和分析计算方法,内容包括土的物理性质、土的渗透性、土的力学性质、土中应力计算、地基沉降量计算、挡土结构物上的土压力、土坡稳定分析、地基承载力、桩基、土动力学性质、地基处理等共 11 章,每章均附有较全面、详细的例题以及习题与思考题。本书按 2002 年国家陆续颁布的有关规范编写,内容新,具有较强的实用性。

本书主要作为高等院校水利水电、土木工程(岩土工程)、地质工程(勘察技术与工程)、公路与城市道路、桥梁工程专业的教学用书,亦可供其他相关专业师生及技术人员参考。

编 委 会

主 编	雷 伟			
副主编	王 彪	李慧兰		
	姜 卓	郎秋玲		
编 委	左战军	侯庆国	王 雷	许美娟
	时述凤	常云华	边 军	李谷雨
	杨天礼	张锦光	钟发英	康顺哲
	张晓辉	郭秀兰	单丽影	付艳芳
	朱 未	黄树友	孙立宇	王银鹰

前 言

进入 21 世纪,经济建设突飞猛进,建筑科学与技术也日新月异,土力学理论与实践也有很大的进步,特别是各项新的国家标准的颁布,在土工设计计算、试验诸方面都有了新的准绳,这就需要教材内容有所调整更新。为满足水利水电、土木工程(岩土工程)、地质工程(勘察技术与工程)、公路与城市道路、桥梁工程专业本科教育层次的教学需求,我们编写了这本《土力学》教材。

在编写过程中,在借鉴经典的《土力学》教材的同时,添加了一些新的或有利于扩大学生知识面的内容,重点放在理论联系实际,语言通俗易懂,文字简明扼要,对一些不适宜教学或比较陈旧的内容进行了删减,力求本教材能与时代前进的步伐一致。本书每章都给出了必要的例题、习题和思考题,这些大多经过多年课堂教学的实践总结,力求深入浅出,便于自学。

本书在处理与技术规范的关系时,遵循以阐明土力学基本原理为主并有助于学生正确理解规范的原则,不拘于长篇引用一本规范的特殊内容,以使學生能灵活使用不同行业的工程建设规范,有利于培养学生适应工程实践的能力。

土力学是一门理论性与实践性都很强的课程,本书编写时注意了理论与实际的结合,通过对一些工程问题的分析,希望有助于培养学生分析与解决实际问题的能力。

最后还给出了主要的参考书与文献,这是为了便于教师备课时参考,也可为希望深入学习的学生提供方便,但不要求每个学生必读。

本书由长春工程学院继续教育学院雷伟副教授主编,由长春工程学院多年从事该课程教学的教师承担编写任务,各章编写的分工如下:

雷 伟	第一章、第三章、第四章、第六章;
王 彪	第九章、第十一章、土工试验指导书;
李慧兰	绪论、第五章、第八章、第十章;
郎秋玲	第二章;
姜 卓	第七章。

在编写过程中,参阅了国内外众多学者的研究成果和著作,在此表示诚挚的谢意。

限于编者的理论水平和实践经验,书中不足之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月

目 录

绪论	1
一、土的形成及基本特性	1
二、土在工程建设中的作用	1
三、土力学研究的内容及基本要求	2
第一章 土的物理性质	5
第一节 土的成因类型	5
第二节 土的组成	7
第三节 土的结构	12
第四节 土的物理性质指标	14
第五节 土的物理状态指标	19
第六节 土的工程分类	22
第二章 土的渗透性	31
第一节 概述	31
第二节 达西定律	31
第三节 渗透系数的确定方法	33
第四节 渗透变形	35
第三章 土的力学性质	41
第一节 有效应力及有效应力原理	41
第二节 土的压缩性及压缩性指标	43
第三节 土的单向固结理论	47
第四节 土的抗剪强度	52
第五节 土的极限平衡条件	54
第六节 土的剪切试验方法	58
第七节 三轴压缩试验中的孔隙应力系数	60
第八节 总应力法与有效应力法	62
第四章 土中应力计算	65
第一节 土中自重应力	65
第二节 基底压力的计算	67
第三节 地基中的附加应力	70
第四节 土坝(堤)自重应力和坝基附加应力	79
第五章 地基沉降计算	83
第一节 地基最终沉降量的计算	83
第二节 应力历史对地基沉降的影响	99
第三节 地基沉降与时间的关系	103

第六章 挡土结构物上的土压力·····	110
第一节 挡土墙与土压力·····	110
第二节 朗肯土压力理论·····	113
第三节 库伦土压力理论·····	117
第四节 常见情况下主动土压力的近似计算·····	119
第五节 影响土压力的因素·····	122
第七章 土坡稳定分析·····	126
第一节 概述·····	126
第二节 无黏性土土坡稳定分析·····	127
第三节 黏性土土坡稳定分析·····	128
第四节 毕肖普法·····	135
第五节 非圆弧滑动面土坡稳定分析·····	137
第八章 地基承载力·····	143
第一节 概述·····	143
第二节 地基的临塑荷载与临界荷载·····	145
第三节 地基的极限承载力·····	149
第四节 地基容许承载力和地基承载力特征值·····	158
第九章 桩基础·····	161
第一节 概述·····	161
第二节 桩的承载力·····	162
第三节 桩基础设计·····	173
第十章 土的动力学性质·····	182
第一节 土在动载荷作用下的变形和强度性质·····	182
第二节 砂土和粉土的振动液化·····	187
第三节 土的压实性·····	193
第十一章 地基处理·····	199
第一节 概述·····	199
第二节 地基处理方法分类及其适用性·····	202
第三节 地基处理技术·····	208
附录 A ·····	236
A-1 矩形基础竖直均布荷载角点下附加应力系数 K_C 值 ·····	236
A-2 矩形基础三角形分布竖直荷载为零的角点下的附加应力系数 K_T 值 ·····	238
A-3 矩形基础均布水平荷载作用下的附加应力系数 K_h 值 ·····	239
A-4 条形基础均布竖直荷载作用下附加应力系数 K_z^s 值 ·····	240
A-5 条形基础均布竖直荷载作用下附加应力系数 K_z^s 值 ·····	241
A-6 条形均布水平荷载作用下附加应力系数 K_z^h 值 ·····	242
A-7 均布矩形荷载角点下的平均竖向附加应力系数 ·····	243
A-8 三角形分布的矩形荷载角点下的竖向平均附加应力系数 $\bar{\alpha}_{t1}$ 、 $\bar{\alpha}_{t2}$ ·····	245
A-9 主动土压力系数(K_a)表 ·····	247
附录 B 实验指导书·····	252
参考文献·····	276

绪 论

一、土的形成及基本特性

土是岩石风化的产物。地壳表层的岩石，经受长期的风化作用，不断碎裂与分解，形成碎块与细粒——土颗粒。土颗粒或在原地堆积起来或由水力、风力搬运至他处沉积下来，形成各种类型的土。

土是矿物颗粒的松散堆积物，颗粒之间的联结强度远比其他工程材料如钢铁、木材以及混凝土中颗粒之间的联结强度小，甚至没有联结，因此，土具有“松散性”。另外，颗粒之间形成许多孔隙，使土具有“多孔性”。一般情况下，土中孔隙由水和空气填充。由于土粒、水和空气是3种不同相的物质，所以土又是由固相（土粒）、液相（水）和气相（空气）组成的多相物体。

土在形成过程中往往经过多次搬运及沉积，而且沉积方式、沉积顺序、沉积范围与厚度、土粒的矿物成分与大小都不相同，因此，天然土层的分布常常是十分复杂的，即使在同一地区甚至同一地点，地层中可能埋藏有多种土层，而且同一土层的性质也常会因位置或深度而变化。其次，土的工程性质又常会随温度、地下水和压力等外界因素的变化而发生显著变化，故须注意土的易变性。

土在地壳表层分布极广，因而它在工程建设中的用途也很广。但由于土具有松散性、多孔性，加以天然土层埋藏条件复杂，土的工程性质又易受外界因素影响，所以可能发生一系列的工程问题。本教材力求对基本的土工原理与计算方法作简明介绍，为读者提供研究土的工程特性及解决土工问题的基本理论与方法。

二、土在工程建设中的作用

在工程建设中，特别是在水利工程建设中，土被广泛用作各种建筑物的地基、材料和周围介质。

当在土层上修建房屋、堤坝、桥梁等各种建（构）筑物时，土被用作地基。在工程荷载的作用下，将使地层一定范围内的应力发生变化。我们把由于承受建筑物荷载而引起变化的那部分地层，称为地基（图0-1）。与地基接触的建筑物下部结构称为基础（一般埋置在地下，如图0-1所示水闸底板），其作用是将建筑物荷载传递到地基中去。

当修建土坝、土堤和路基工程建筑物时，土还用作填筑材料（土料）。

当在土层中修建涵洞及渠道等，土便成为建筑周围的介质。

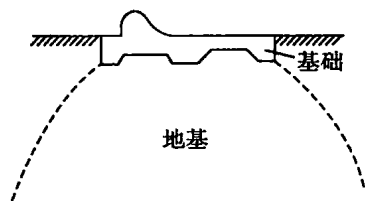


图 0-1 地基与基础

三、土力学研究的内容及基本要求

土力学是通过试验手段研究土的物理力学性质，并运用力学方法研究土体渗流，土中应力以及土的压缩变形与强度规律的一门技术学科，同时也是密切结合专业和工程实践的一门课程。在学习上要着重于基本概念的了解，掌握计算方法，并培养解决实际工程问题的能力。

土力学作为技术基础课，其内容是为从事各种工程建筑物的勘察、设计与施工奠定良好的基础。学习本课程的基本要求是：

(1) 了解土的基本物理性质，即土的颗粒组成、密度、湿度和可塑性等基本属性以及土所处的物理状态（如黏性土的软硬程度）；了解土的力学性质，即土在外力作用下所表现的性质，如渗透性、压缩性和抗剪强度等；了解土的这几种物理力学性质指标的测定原理与技术。

(2) 掌握地基的应力、变形和承载能力以及挡土墙土压力和土坡稳定性等的计算原理与方法。

(3) 掌握天然地基上浅基础的设计内容与步骤，桩基础的承载力及软土地基的一般处理方法。

建造各类建筑物几乎都涉及到土力学课题，保证建筑物施工期的安全、竣工后的安全和正常使用。土力学学科需研究和解决工程中的两大类问题，一是土体稳定问题，这就要研究土体中的应力和强度，例如地基的稳定、土坝的稳定等。当土体的强度不足时，将导致建筑物的失稳或破坏；二是土体变形问题，即使土体具有足够的强度能保证自身稳定，然而土体的变形尤其是沉降（竖向变形）和不均匀沉降不应超过建筑物的允许值，否则，轻者导致建筑物的倾斜、开裂，降低或失去使用价值，重者将会酿成毁坏事故。

土力学是岩土工程学科的基础，是水利水电工程、土木工程、地质工程、环境工程、路桥及港口工程等专业的专业基础课程之一，属于专业基础课程，是解决许多工程问题的有力工具。很难想像，缺乏土力学知识的工程师如何能圆满完成各种工程建设。

在分析有关土工问题时，必须特别注意土层埋藏情况的复杂性及土的性质易变性这两个特点。水工建筑的地基范围较广，土层变化往往更为复杂，而且水工建筑物的修建又常会改变原有水文地质条件，给水工建筑物的稳定性带来了不利影响。此外，水工建筑物除了承受竖向荷载以外，还经常承受巨大的水平荷载（水压力），从而使地基的强度稳定性与变形问题也变得更为复杂。因此，要十分重视土的地质勘探、取样试验工作，充分研究土的类别、性质和状态，针对具体工程的特点进行分析，将取得的勘探、试验资料，细心地有区别地加以利用。

学生在学完高等数学、理论力学、材料力学、水力学之后学习本课程，只有在学好本课程之后，才有可能进一步学习基础工程、地基处理等岩土工程学科的相关课程。“土力学”研究的对象是土。土是自然界的产物，是岩石风化形成的，其性状变化很大。因此，土力学理论依靠较多的简化假设。在处理工程中的土力学问题时，不能单凭数学和力学的方法，我们同时需要室内及野外的测试手段，实地观察和经验判断。

由于“土力学”具有上述与一般固体力学或水力学不同的特点，初学者总感到头绪多

端,难以掌握;另一方面却又往往认为理论不够严密而予以轻视。因此,希望学生在今后的学习中,要掌握不同学科的特点,采取不同的学习方法。“土力学”是密切结合专业和实践的一门课程,学习中不但要着重于基本概念和基本理论、掌握它的计算方法,而且学会初步解决实际问题的能力:如能够识别土样,掌握室内实验方法,了解野外测试的新方法,以及各种计算方法的基本假设及它们可能引起的误差范围等等。

土力学是岩土工程学科的基础,是一门既古老而又年青的应用学科。我国古代劳动人民创造了灿烂的文化,留下了令今人叹为观止的工程遗产,恢宏的宫殿寺院,灵巧的水榭楼台,巍峨高塔,蜿蜒万里的长城、大运河等等。这些工程无不体现出能工巧匠的高超技艺和创新智慧。然而这些还仅局限于工程实践经验,受到当时生产力水平的限制,未能形成系统的土力学和工程建设理论。

土力学逐渐形成理论始于18世纪兴起工业革命的欧洲,那时,为满足资本主义工业化的发展和市场向外扩张的需要,工业厂房、城市建筑、铁路等大规模的兴建,提出了许多与土力学相关的问题,例如铁路路基问题。1773年,法国A·库伦(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楔理论。1869年,英国W·J·M朗肯(Rankine)又依据强度理论从另一角度推导了土压力计算公式。1885年,法国J·布辛内斯克(Boussinesq)求得了弹性半无限空间在竖向集中力作用下的应力与变形的理论解。1922年,瑞典的W·费伦纽斯(Fellenius)提出了土坡稳定分析方法。这些古典的理论和方法影响着后人。许多学者前赴后继的努力,为本学科的系统发展作出了贡献。1925年,K·太沙基(Terzaghi)归纳了以往的研究成果,提出一维固结理论,阐述了有效应力原理,发表了第一本《土力学》专著,标志着近代土力学学科的形成。1963年,罗斯科(Roscoe)等人创建发表了著名的剑桥弹塑性模型,标志着人们对土性质的认识和研究进入了一个崭新的阶段。

在20世纪20年代,以太沙基《土力学》专著的问世为标志,产生了土力学这门新的学科,它以正确反映和预测土的力学性质和行为,确保各类工程的土体在各种环境下的变形和强度稳定性为主要任务。几十年来,土力学得到突飞猛进的发展,在城乡建筑、铁路公路、水利电力、港口、机场、采矿等各类工程建设中起到了重要作用。到目前为止,如果仅从技术上讲,土力学已经有能力应付一切复杂的建筑环境,土力学自由王国的领域得到了空前的开拓,从了解土和利用土走向主动地对土进行改造,从被动的土体稳定性可估走向主动的可控。但是,作为一门科学,土力学毕竟还很年轻,而它所工作的对象却是那么复杂而多变。它不仅涉及到弹性力学、塑性力学、流变学、地质学、矿物学、化学、数学等多种学科,而且视其环境条件,还会与水文地质学、地震工程学、流体动力学等许多学科发生密切的关系。同时,还受到各种工程材料,施工技术等等许多因素的重要影响。因此,从根本上讲,土力学仍面临着人类未曾有过的新挑战,工程规模、工程条件的新变化,给土力学提出了一系列亟待解决或需要解决的新课题。土力学必须在处理问题条件上进一步提高它的实际性,以面对因素多、环境差、条件苛刻、要求高的实际,作出准确可靠的决策;土力学必须在理论体系上进一步提高它的完整性,以建立一套能够描述土力学性质与行为的力学模型,反映和区别对待不同因素之间的相互作用和内在联系;土力学必须在测试计算上进一步提高它的精确性,以揭示和利用更加真实的土力学规律。最终,土力学必须使土工建筑和地基工程进

一步提高在其使用上的耐久性（已不只是稳定性了），以消减大量人力、财力、物力和时间上无谓浪费。而且，土力学的发展，要求它能用愈来愈简单的方法、愈来愈短暂的时间来解决愈来愈复杂的岩土工程问题。这就不能不在它与计算机科学的结合上花更大的气力。电子计算机的应用和实验测试技术自动化程度提高，标志着本学科进入了一个新时期，土力学地基基础学科必将得到新的更大的发展。

第一章 土的物理性质

第一节 土的成因类型

地球表层的整体岩石，在大气中经受长期的风化作用后形成形状不一、大小不同的颗粒，这些颗粒在不同的自然环境条件下堆积（或经搬运沉积），即形成了通常所说的土。因此，可以说土是松散颗粒的堆积物。

岩石的风化一般可分为物理风化和化学风化两个过程。物理风化就是指岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀，或受波浪的冲击、地震等引起各种力的作用，温度的变化、冻胀等因素使整体岩石产生裂隙、崩解碎裂成岩块、岩屑的过程。例如，岩体冷却时引起的温度应力或地表附近日常的气温变化都可以导致岩体开裂，雨水渗入这些裂隙后冻胀将促使裂隙张开，最后岩体崩解成岩块。通过同样的过程，这些岩块又可进一步碎裂成岩屑。在干旱地区，大风刮起的砂、砾的撞击亦可引起岩体剥落和岩块碎裂。一般，物理风化作用，只改变颗粒的大小与形状，不改变岩石的矿物成分。化学风化是指岩体（或岩块、岩屑）与氧气、二氧化碳等各种气体、水及各种水溶液等物质相接触，经氧化、炭化和水化作用，使这些岩石或岩屑逐渐产生化学变化，分解为极细颗粒的过程。例如，当岩石和水相接触时水中的 H^+ 就会和矿物产生化学反应，微小的 H^+ 可以进入矿物的晶格取代其中的阳离子并改变矿物的晶格和化学成分。当水为酸性时， H^+ 浓度增加，这种反应更为强烈和迅速。因此化学风化使岩石起了质的变化，不但改变了颗粒的大小，也改变了原岩矿物的成分。在自然界，物理和化学这两种风化作用是同时或交替进行的，所以，任何一种天然土通常既是物理风化的产物，又是化学风化的产物。

土从其堆积或沉积的条件来看可以分为以下几种类型。

1. 残积土

残积土是指岩石经风化后仍留在原地未经搬运的堆积物。残积土的厚度和风化程度主要取决于气候条件和暴露时间。残积土的厚度受风化和搬运作用及岩体的构造作用的影响。在湿热地带，风化速度快，残积土的厚度可达几米至几十米，这里的残积土主要由黏粒组成；反之，在严寒地带，残积土的厚度不大，且主要由岩块和砂组成。由于残积土未经搬运的磨蚀作用，土层中所含的石块均带尖棱角。残积土的明显特征是，颗粒多为角粒且母岩的种类对残积土的性质有显著影响。母岩质地优良，由物理风化生成的残积土，通常是坚固和稳定的。母岩质地不良或经严重化学风化的残积土，则大多松软，性质易变。残积土一般是良好的建筑土料，但作为建筑地基时要注意土性和厚度随不同位置的变异性，应进行详细的勘探工作。

2. 坡积土

当雨水和融雪水洗刷山坡时,将山坡上的岩屑顺着斜坡搬运到较平缓的山坡或山麓处,逐渐堆积成坡积土。坡积土搬运距离不远,物质来源于当地山上,颗粒由坡顶向坡角逐渐变细,坡积层表面的坡度越来越平缓。坡积层的薄厚不均,土质也极不均匀。通常坡积层的孔隙大,压缩性高。如作为建筑物的地基,应注意不均匀沉降和地基稳定性。

3. 洪积土

由暴雨或大量融雪,形成山洪急流,冲刷并搬运大量岩屑,流至山谷出口与山前倾斜平原,堆积而成洪积土层。洪积层在谷口附近多为大的块石、碎石、砾石和粗砂,谷口外较远的地带颗粒变细,这是因为谷口处的地形窄,流速大,谷口外地势越来越开阔,山洪的流速逐渐减慢之故。其地貌特征:靠谷口处窄而陡,谷口外逐渐变为宽而缓,形如扇状,称为洪积扇。如图 1-1。

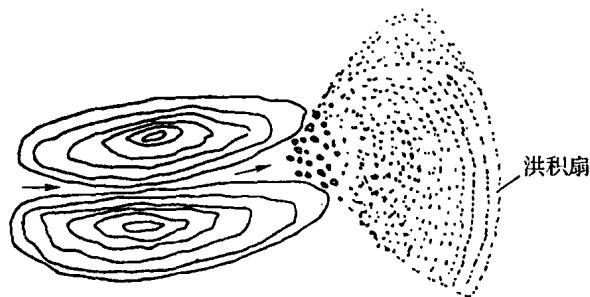


图 1-1 洪积层颗粒分布与洪积扇

由于山洪的发生是周期性的,每次山洪大小不同,堆积物的粗细也随之不同,因此,洪积层常为不规则的粗细颗粒交替层理构造。洪积层中往往存在黏性土夹层、局部尖灭和透镜体等产状。

若以洪积土层作为建筑物地基时,应注意土层的尖灭和透镜体引起的不均匀沉降,为此,需要精心进行工程地质勘察,并针对具体情况妥善处理。

4. 冲积土

降雨形成的地表径流流经地表时,冲刷、带动或搬运土粒,经过一段搬运距离后在较平缓的地带沉积下来的土层。这些被搬运的物质有的来自山区,有的来自平原,还有的来自江河河床冲刷及两岸剥蚀的产物。冲积土的分布范围很广。其主要类型有山区河谷冲积土、山前平原冲积土、平原河谷冲积土、三角洲冲积土等。大多数冲积土是由水流搬运逐渐沉积而成的。流水所能带走土粒的最大尺寸与其流速的平方成比例,水的流速又与水力坡降有关。大小不同的土粒随着河流流速的改变可堆积在不同的部位,这就引起一定程度的颗粒分选和不均匀性。

5. 风积土

由风力带动土粒经过一段搬运距离后沉积下来的堆积物称为风积土。主要有砂土和黄土,常在干旱和半干旱地区遇到。风所能带走的颗粒大小取决于风速,因此,颗粒随风向也有一定的分选。风积土没有明显层理,颗粒以带角的细砂粒和粉粒为主,同一地区颗粒较均匀。干旱地带粉质土粒细小,土粒之间的联接力很弱,易被风力带动吹向天空,经过长距离搬运后再沉积下来形成。典型的风积土,如黄土(或黄土类土)具有肉眼可见的竖直细根孔,颗粒组成以带角的粉粒为主,常占干土总质量的 60%~70%,并含有少量黏粒和盐类胶结物。由于黄土具有一些大孔隙,因而密度很低。黄土分布在干旱地区,因而含水率也很低。一般为 10% 左右,干燥时由于土粒之间有胶结作用,其胶结强度较大,即使很疏松,仍能维持陡壁或承受较大的建筑物荷载。可是一经遇水,土体结构即遭破坏,胶结强度迅速

降低,黄土地基会在自重或建筑物荷载作用下剧烈下沉,黄土的这种性质称为湿陷性。我国黄土分布广泛,在黄土地区修造建筑物时一定要充分注意到黄土的这一性质。

6. 沼泽土

在沼泽地的沉积物称为沼泽土。其形成是在停滞或流动不畅的浅水地区,在条件合适的情况下植物大量繁殖。地层构造运动或环境变化使得大片植物被水或土覆盖,随着时间的推移植物完全或部分分解并腐烂变质。充分腐化的土称为腐植土,其年代较久。未完全腐化还保留有植物残余的为泥炭土。泥炭土的特点通常呈海绵状,干密度很小,含水率极高,土质十分疏松,因而其压缩性高、强度很低而灵敏度很高。应力求避免直接作为建筑物地基。

除了上述几种类型沉积土层以外,还有海相沉积土、冰川沉积冰碛土等。

第二节 土的组成

土是一种由固相、液相和气相 3 部分组成的松散的颗粒堆积物。固相部分主要是土粒,有的土还有粒间胶结物和有机质,液相部分为水,气相部分为空气和其他气体。

土粒是土的主体,它构成土的骨架。从本质上说,土的物理性质取决于组成土的土粒大小及其矿物成分。各种土的颗粒大小和矿物成分差别很大,三相间的相对含量也不同,而且土中的三相并非机械地组合在一起,而是相互联系,相互作用,共同形成土的物理性质。例如水同细小黏粒表面的相互作用,形成一层极薄的所谓结合水,将土粒联结起来,使黏性土具有黏性、可塑性与胀缩性等物理特性,并使黏性土在不同的湿度下表现出不同的稠度(软硬程度)。又如土中三相含量的比例关系不同,可以使土具有不同的湿度和密度,因而其性质也就不同;颗粒大小组成乃至颗粒排列形式,都对土的性质有直接影响。由此可见,研究土的工程性质,首先从最基本的、组成土的三相,即固体颗粒、水和气体本身开始研究。

一、土的固体颗粒

(一) 土的矿物成分

1. 原生矿物

由岩石经物理风化而成,其成份与母岩相同。包括:

单矿物颗粒——如常见的石英、长石、云母、角闪石与辉石等,砂土为单矿物颗粒。

多矿物颗粒——母岩碎屑,如漂石、卵石和砾石等颗粒为多矿物颗粒。

2. 次生矿物

岩屑经化学风化而成,其成分与母岩不同,为一种新矿物,颗粒细。主要是黏土矿物,其粒径很细, $d < 0.005\text{mm}$,肉眼看不清,用电子显微镜观察为鳞片状。

黏土矿物的微观结构由两种原子层(晶片)构成;一种是由是 $\text{Si}-\text{O}$ 四面体构成的硅氧晶片,另一种由 $\text{Al}-\text{OH}$ 八面体构成的铝氢晶片。因这两种晶片结合的情况不同,形成 3 种黏土矿物:

蒙脱石——两结构单元之间没有氢键,联结弱,水分子可以进入两晶胞之间。因此蒙脱石亲水性大,胀缩性剧烈。

伊利石(水云母)——部分四面体中的 Si 为铝、铁所取代,损失的原子价由阳离子钾

补偿。因而晶格层组之间具有结合力，亲水性低于蒙脱石。

高岭石——晶胞之间有氢键，联结力较强，晶胞之间距离不易改变，水分子不能进入。因此，亲水性最小。

次生矿物还有次生二氧化硅与难溶盐等。

(二) 土中的有机质

在岩石风化及风化产物搬运、沉积过程中，常有动、植物的残骸及其分解物质参与沉积，成为土中的有机质。其中分布较广较多的是植物残骸、分解不全的泥炭和分解完全的腐植质。

腐植质呈胶体状，亲水性强。淤泥类土含腐植质较多（1.5%~2.0%以上），压缩性极高，强度极低。分解不全的泥炭，一般都疏松多孔，强度低，压缩性高，而且还将继续分解，随着分解度增高，亲水性增强。生物遗骸也是这样。所以有机质也是土中的有害物质成分。选择筑坝土料时，对有机质含量应有一定限制，一般认为不宜超过5%，对防渗料且应小于2%。

(三) 土的粒度成分

1. 土的粒组划分

自然界的土，都是由不同大小的土粒组成的。土粒的大小通常以其直径表示，简称“粒径”，常用单位为mm。随着粒径变小，土粒的矿物成分和性质也逐渐发生变化。所以由于颗粒大小不同所组成的土其性质有很大差别。为研究土的颗粒大小组成，需将自然界各种土粒划分为若干组别（级别）——“粒组”。划分粒组的方法是将一定粒径范围内其具有相似成分和性质的土粒作为一个粒组，这样可以将自然界的土粒划分为数个粒组。

对粒组的划分，各个国家，甚至一个国家中的各个部门都有不同的规定。表1-1为我国水利部《土工试验规程》（SL237—1999）中规定的粒组划分情况。土力学主要是研究粒径60mm以下的各个粒组。

表 1-1 水利部标准规定的粒组划分

粒组名称	粒组范围 (mm)
漂石 (块石) 粒组	>200
卵石 (碎石) 粒组	60~200
砾石粒组	2~60
砂粒粒组	0.075~2
粉粒粒组	0.005~0.075
黏粒粒组	<0.005

《岩土工程勘察规范》（GB50021—2001）采用的粒组划分标准（表1-2）。

《建筑地基基础设计规范》（GB50007—2002）采用的粒组划分标准（表1-3）。

2. 土的颗粒级配

土中的颗粒大小及其组成情况，通常以土中各个粒组的相对含量（各粒组占土粒总土质量的百分数）来表示，这就是土的颗粒级配。

土的级配好坏将直接影响到土的工程性质。人们一直在探索土的级配与土的工程性质之

间的密切关系。级配良好的土，压实时能达到较高的密实度，因而，该土的透水性小，强度高，压缩性低。反之，级配不良的土，其压实密度小，强度低，透水性强而渗透稳定性差。

土的颗粒级配可通过土的颗粒大小分析试验来测定，粒径大于 0.075mm 的粗颗粒，常用筛分法来测定。粒径小于 0.075mm 的细颗粒，常用密度计法测定。如果土中粗细颗粒都有，则联合使用以上两种试验方法。

表 1-2 粒组划分标准 (GB50021—2001)

粒组统称	粒组划分		粒径 (d) 的范围 (mm)
巨粒组	漂石 (块石) 组		$d > 200$
	卵石 (碎石) 组		$200 \geq d > 60$
粗粒组	砾粒 (角砾)	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砾	$5 \geq d > 2$
	砂粒	粗砂	$2 \geq d > 0.5$
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉粒		$0.075 \geq d > 0.005$
	黏粒		$d \leq 0.005$

表 1-3 《土的工程分类标准》(GB50007—2002)

粒组统称	粒组名称	粒组范围 (mm)
巨粒	漂石 (块石)	> 200
	卵石 (碎石)	$200 \sim 60$
粗粒	粗砾	$60 \sim 20$
	细砾	$20 \sim 2$
	砂粒	$2 \sim 0.075$
细粒	粉粒	$0.075 \sim 0.005$
	黏粒	< 0.005

筛分法是用一套孔径不同的标准筛，将称过质量的风干土样过筛，分别称出留在各筛上土的质量，然后算出累积留筛土质量及小于各筛孔径的土质量占总土质量的百分数。

密度计法：也称比重计法，利用土粒直径大小不同，在水中沉降的速度也不同的特性，用特别比重计进行测定分析。具体方法步骤参见试验指导书。

试验结果，绘制土的粒径级配曲线，见图 1-2。纵坐标表示小于某粒径土占总土的百分数；横坐标为土的粒径，用对数尺度。

【例题 1-1】 从干砂样中称取质量 1000g 的试样，放入标准筛中，经充分振摇后，称得各级筛上留存的土粒质量，见表 1-4 中的第二行，试求土内各粒组的土粒含量。

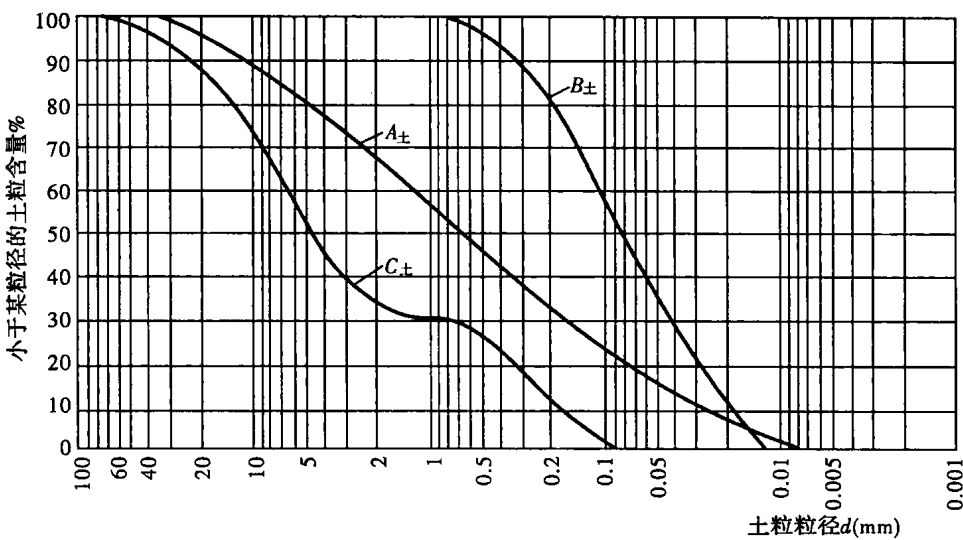


图 1-2 土的级配曲线

表 1-4 筛分试验结果

筛孔径 (mm)	2.0	1.0	0.5	0.25	0.15	0.075	底盘
各级筛上的土粒质量 (g)	100	100	250	300	100	50	100
小于各级筛孔径的土粒含量 (%)	90	80	55	25	15	10	
各粒组的土粒含量 (%)	10	10	25	30	10	5	10

【解】 留在孔径 2mm 筛上的土粒质量为 100g，则小于该孔径的土粒质量为 900/1000 = 90%。同样可算得小于其他孔径的土粒质量，见表 1-4 中的第三行。

由小于 2mm 和 1mm 孔径的土粒含量 90%和 80%可得到 2mm 到 1mm 粒组的土粒含量为 10%。同样可算得其他粒组的土粒含量，见表 1-4 中的第四行。

从颗粒级配曲线的坡度可以大致判断土的均匀程度或级配情况。如果曲线平缓，土粒大小变化范围广，说明土粒不均匀，各级粒组级配良好；反之，如果曲线较陡，土粒大小变化范围窄，则说明土粒均匀，各级粒组级配不良。常用的判别土的颗粒级配良好与否的指标是不均匀系数 C_u 及曲率系数 C_c ：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{1-1}$$

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

式中 d_{60} 、 d_{10} 和 d_{30} 分别为颗粒级配曲线的纵坐标上小于某粒径的土质量百分数为 60%、10%及 30%所对应的粒径值， d_{60} 称为控制粒径， d_{10} 成为有效粒径。

不均匀系数 C_u 反映土的颗粒组成的离散程度或颗粒大小的不均匀程度。 C_u 值愈大，说明土的颗粒大小愈不均匀；反之， C_u 值愈小，曲线愈陡，颗粒大小愈均匀。一般将 $C_u > 5$ 的土列为土粒大小不均匀、级配较好的土； $C_u < 5$ 的土为土粒大小均匀、级配不良的土。曲线系数 C_c 反映 d_{60} 与 d_{10} 之间曲线主段的弯曲情况。一般 C_c 值在 1~3 之间的土，土粒大小