



世纪建筑工程系列规划教材

土力学与地基基础

主编 孙维东

主审 张利



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪建筑工程系列规划教材

土力学与地基基础

主 编 孙维东
副主编 田新奎 仲崇梅
参 编 董秀桃 李成河 徐秀香
主 审 张 利



机械工业出版社

本书为 21 世纪建筑工程系列规划教材之一。全书共十章, 分别介绍了土质、土力学基本知识; 工程地质勘察内容和方法; 常见的浅基础和桩基础及一般挡土结构的设计与构造知识; 基坑工程的有关规定和设计计算基本内容; 软弱地基及特殊土地基的特点及处理方法; 地基基础有关抗震要求。本书按 2002 年国家陆续颁布的有关规范编写, 内容广泛, 实用性强。适合高职高专和应用技术学院工业与民用建筑、建筑施工与管理、房屋建筑工程, 以及城乡建设等专业使用, 同时可作为土建专业勘测、设计、施工人员学习新规范的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与地基基础/孙维东主编. —北京: 机械工业出版社, 2003.8

(21 世纪建筑工程系列规划教材)

ISBN 7-111-12443-X

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 048181 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 季顺利 版式设计: 冉晓华 责任校对: 张莉娟

封面设计: 姚 毅 责任印制: 闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·11.375 印张·442 千字

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

21 世纪科学技术飞速发展, 建筑科学与技术也日新月异。2002 年国家相继颁布了《建筑地基基础设计规范》、《岩土工程勘察规范》、《建筑边坡工程技术规范》等与本课程内容有关的系列规范, 这就需要教材内容应有所更新。为满足高职高专和应用技术学院教育层次对本门课程的教学需求, 我们组织编写了这本《土力学与地基基础》教材。

本书编写内容包括: 土质土力学基本知识; 工程地质勘察内容和方法; 常见的浅基础和桩基础及一般挡土结构的设计与构造知识; 基坑工程的有关规定和设计计算基本内容; 软弱地基及特殊土地基的特点及处理方法; 地基基础有关抗震要求。本书内容广泛, 但强调够用为度, 对理论内容的推导、演绎作了适当删减, 编写过程中注意理论联系实际, 突出实用。全书按 74 学时 (包括实验学时) 编写。其中软弱地基、特殊土地基及山区地基内容区域性强, 可结合本地区土质情况, 进行取舍。为教学方便, 书后附有实验指导书。每章最后附有思考题及习题供学生练习, 以加深对内容的理解和掌握。

参加编写本书的教师都具有多年教学实践经验。其中绪论、第二章由孙维东编写; 第一章、土工实验指导书由董秀桃编写; 第三、七、八章由李成河编写; 第四章由田新奎编写; 第五、九章由仲崇梅编写; 第六、十章由徐秀香编写。孙维东担任主编, 田新奎、仲崇梅担任副主编, 张利担任主审。

由于编写水平和能力所限, 加之时间仓促, 书中难免有不当之处, 恳请各位读者批评指正。

编 者

2003 年 3 月

目 录

前言

绪论	1
第一章 土的物理性质	5
第一节 土的形成	5
第二节 土的组成	8
第三节 土的结构和构造	13
第四节 土的三相比例指标	14
第五节 土的物理性质	20
第六节 地基土(岩)的分类	26
思考题	31
练习题	31
第二章 土的力学性质	33
第一节 土中应力	33
第二节 土的压缩性	49
第三节 地基的最终沉降量	52
第四节 地基变形与时间的关系	59
第五节 土的抗剪强度与地基承载力	67
思考题	83
练习题	84
第三章 地基勘察与测试	86
第一节 工程地质概述	86
第二节 地基勘察的任务和内容	90
第三节 地基勘察与测试方法	93
第四节 地基勘察报告书	103
思考题	109
练习题	109
第四章 天然地基上的浅基础	110
第一节 概述	110
第二节 基础埋置深度的选择	123

第三节 基础底面尺寸的确定	129
第四节 地基变形及稳定性验算	139
第五节 浅基础设计	141
思考题	174
练习题	174
第五章 桩基础	176
第一节 概述	176
第二节 桩的类型	178
第三节 单桩竖向荷载的传递	183
第四节 单桩竖向承载力的确定	187
第五节 群桩竖向承载力	197
第六节 桩的水平承载力	204
第七节 桩基础设计	212
第八节 其他深基础简介	233
思考题	238
练习题	238
第六章 土压力与边坡稳定	239
第一节 概述	239
第二节 作用在挡土墙上的土压力	240
第三节 挡土墙的设计	252
第四节 边坡稳定分析	259
思考题	265
练习题	265
第七章 基坑工程	266
第一节 一般规定	266
第二节 设计计算	273
第三节 地下连续墙	278
思考题	281
第八章 软弱地基处理	282
第一节 概述	282
第二节 各种地基处理方法	285
思考题	297
练习题	298
第九章 特殊土及山区地基	299
第一节 湿陷性黄土地基	299

第二节 膨胀土地基	301
第三节 岩溶和土洞	305
思考题	308
第十章 地基基础的抗震	309
第一节 建筑场地的类别与震害	309
第二节 地基基础的抗震设计	312
第三节 工程抗震的新发展	315
思考题	319
附录	320
附录 A 附加应力系数 α 、平均附加应力系数 $\bar{\alpha}$	320
表 A-1 矩形面积均布荷载角点下的竖向附加应力系数 α_c	320
表 A-2 矩形面积三角形分布荷载角点下的竖向附加应力系数 α_{11} 和 α_{12}	322
表 A-3 均布条形荷载下的竖向附加应力系数 α_{sz} 、 α_{sx} 、 α_{sy}	324
表 A-4 均布矩形荷载角点下的平均竖向附加应力系数 $\bar{\alpha}$	324
附录 B 挡土墙主动土压力系数 k_a	327
附录 C 土工试验指导书	329
试验一 土的基本物理性质指标的测定	329
试验二 粘性土的液限和塑限测定	335
试验三 土的标准固结试验	341
试验四 三轴压缩剪切试验	346
参考文献	357

绪 论

一、土力学、地基与基础的概念

任何建筑物都支承于地层之上,地球表面的地层一般是由岩石经风化、搬运、沉积而形成的松散的堆积物,工程中称之为土。土是自然界的产物,与其他材料有所不同。利用力学原理,研究土的应力变形、强度、稳定和渗透特性及其随时间变化规律的科学称为土力学,它是力学的一个分支,是本课程的理论基础。

受建筑物荷载的影响,建筑物下一定范围内土层将产生应力和变形,应力和变形不可忽略的那部分地层称为地基(见图0-1)。由于土在形成过程中,不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小等不同,沿竖向呈层状构造。基础以下的土层称为持力层,在地基范围内持力层以下的土层称为下卧层,如果下卧层的承载力低于持力层,则称为软弱下卧层。

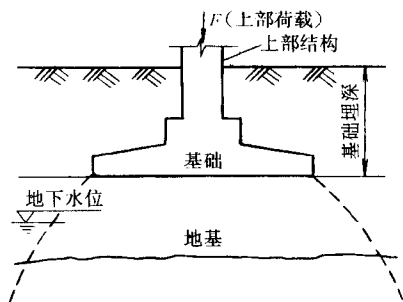


图0-1 地基、基础示意图

作为承托建筑物的地基应满足两方面的要求:①地基的承载能力不小于作用于地基的压力,在防止地基整体破坏和建筑物失稳方面具有足够的安全储备;②地基的变形值不能过大,保证建筑物不因沉降过大而损坏或影响正常使用。所选择的建筑场地的土层,能否满足建筑物或构筑物对地基的上述要求,必须在设计之前进行工程地质勘察,提出勘察报告,然后根据拟建建筑物的结构形式、荷载、构造和使用等方面的要求,进行承载力、变形、稳定性分析。若地基未经处理,称为天然地基,如地基较软弱,不能满足上述要求,则需对地基进行加固处理,这种经过加工处理的地基成为人工地基。

建筑物为满足稳定性要求及使之落在较好的土层上,一般要埋入地下一定深度,埋入这部分结构,起着支撑上部结构,并将上部结构荷载传给地基的作用,称为基础。基础的形式有很多,设计时应选择能适应上部结构和场地工程地质条件、符合使用要求,满足地基设计基本要求及技术上合理的基础结构方案,还应保证基础本身在上部结构荷载及地基反力共同作用下不至于破坏。一般地基埋置较浅(一般小于5m),可用简单方法进行基坑开挖、排水等施工程序就可建造起来的基础称为浅基础。例如,单独基础、条形基础、十字交叉基础、筏基础、箱

基等。如果建筑物荷载较大且上层土质较软弱时，须将基础埋于较深的土层上，这时要借助于特殊施工方法建造的基础，称为深基础，例如，桩基础、沉井、地下连续墙等。

建筑物的地基、基础和上部结构，虽然各自功能不同，研究方法各异，但三者是彼此联系、相互制约的整体。如软弱地基除考虑采用人工处理地基之外，还要增大基础底面尺寸、适当加强上部结构的整体刚度或采用桩基础、沉井等方案。各种设计方案进行经济技术比较，以使所选择的方案安全可靠、经济合理、技术先进、施工方便。

二、地基、基础在建筑中的重要性

地基、基础是建筑物的根基，它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安全和正常使用。同时，由于基础的结构特点及施工难度大，其造价较高，占建筑物总投资的 $1/5$ 左右。又由于基础属于地下隐蔽工程，一旦出现事故，又不易被发现，事后补救困难。国内外由于地基基础设计或施工不当，导致建筑物失效和造成较大经济损失的例子屡见不鲜。

加拿大特朗斯康谷仓就是典型一例（见图 0-2），该谷仓建于 1941 年，由 65 个筒仓组成，高 31m，底面积为 $59.4\text{m} \times 23.5\text{m}$ ，厚 2m 的钢筋混凝土片筏基础。谷仓装谷物后，明显下沉，24h 一侧下沉 8.8m，另一侧抬高 1.5m，整体倾斜 $26^\circ 53'$ ，事后勘察发现，基础下有厚达 16m 的高塑性软粘土层，基底平均压力为 320kPa，大大超过了地基的承载力（251kPa），因而造成地基整体破坏，致使谷仓失稳。幸好该谷仓整体刚度较大，上部结构没有破坏。事后在地基中做了 70 多个支承于基岩上的混凝土土墩，使用了 388 个 50t 的千斤顶和支承系统，才把仓体矫正，但其标高比原来降低了 4m。

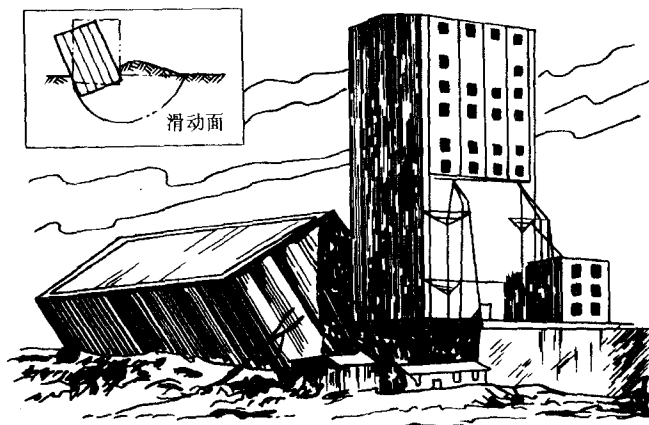


图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓事故示意图

1982年修建的某县大旅店,建筑面积4190m²,采用七层框架结构和天然地基上柱下独立基础。设计前曾作过简易勘探,但对地基软弱土层情况不重视。做完基础后沉降15mm,之后施工过程中沉降越来越大,上部结构也有不少裂缝出现。但这些情况未引起足够重视,加上上部结构设计当中也存在问题,因此,在竣工前突然倒塌,南面二层楼均陷入地下。死亡4人,重伤一人,损失60万元。事后经调查分析,建筑物倒塌的根本原因是地基承载力明显不足。

三、本课程学习的内容、特点和学习方法

本书主要讲述如下几方面内容。一、二章主要讲述土质土力学基本知识;第三章介绍工程地质勘察内容和方法;四、五、六章分别介绍常见的浅基础和桩基础及一般挡土结构的设计与构造知识;第七章主要介绍基坑工程的有关规定和设计计算基本内容;八、九章分别介绍软弱及特殊土地基的特点及处理方法;第十章简要介绍地基基础有关抗震要求。

本课程内容广泛、综合性强,是一门理论和实践性均较强的学科,与工程力学、建筑材料、建筑结构、施工技术和工程地质等学科密切相关。其中土力学部分,由于土是由固态、液态和气态组成的三项体,与各种连续体比较具有复杂的物理力学性质,而且易受环境条件,如温度、湿度及地下水等变动的影响。因此,在进行理论研究时,常需做出某些假设或忽略某些因素。现有的土力学理论还难以模拟概括天然土层在建筑物下所表现的各种力学性状的全貌,但本书所介绍的基本理论是指导我们从事地基基础设计和施工的重要的基本理论知识。同时试验是了解土的物理力学性质和特征的必由之路,常规的室内实验有时不完全符合现场实际情况,而且试件易受到扰动,所以常进行现场原位实验,并对实验结果进行分析并合理取值。由于工程的结构特点、使用要求而且工程地质条件千差万别,没有完全相同的工程实例。因此,在设计前,应严格进行工程地质勘察,在进行地基基础设计时,应综合考虑地基、基础、上部结构的相互关系,地震设防区还应考虑抗震方面的有关要求,合理选择地基基础方案。应用所学的基本理论知识,进行设计,不但要使所设计的建筑物满足使用要求、安全可靠,还要考虑经济这一重要因素,尽量少花钱,办好事。综上所述,在学习本门课程过程中,应掌握土质土力学基本理论,能阅读和使用工程地质勘察资料,能结合建筑结构和施工技术知识进行一般房屋的地基基础设计和施工,初步掌握地基常用处理方法。学习过程中,注意理论联系实际,重点培养分析问题和解决问题的能力。

四、本学科的发展概况

地基与基础既是一项古老的工程技术,又是一门年轻的应用科学。采用石料修筑基础、木材做成桩基、石灰拌土夯成垫层或浅基础、砂土水撼加密、填土击实技术已成为自古以来我国劳动人民所广泛使用的处理地基的传统方法。

18世纪西欧产业革命,推动了工业、铁路、城市建设等事业的迅猛发展,伴随着与土有关问题的解决,涌现了一批土力学研究者先驱。1773年,法国的C.A. 库仑(Coulomb)根据试验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。1857年,英国的W.J.M 郎肯(Rankine)又从另一途径提出了挡土墙土压力理论。这对后来土体强度理论的发展起到很大的作用。此外,1856年,法国工程师H. 达西(Darcy)研究了砂土的透水性,提出了达西定律,这一定律仍被用来分析土中渗流问题。1885年法国J. 布辛奈斯克(Boussinesq)求得了弹性半空间体在竖向集中荷载作用下的应力和变形的求解公式,至今仍在浅基础沉降计算中应用。1925年,K. 太沙基(Terzaghi)在总结归纳前人的研究成果并总结本人的研究成果基础之上,以德文撰写了一本比较系统、完整的《土力学》一书,标志着土力学与基础工程学科的诞生。继K. 太沙基之后,各国又出现了为数不少的杰出的土木研究者,为本学科的发展作出了巨大的贡献。

自20世纪50年代,现代科学技术进入本学科各个领域,特别是进入20世纪70年代,计算理论和计算技术得到了飞速发展,土力学与地基基础研究也进入了崭新的阶段。土力学应用有限元理论和采用先进的计算手段,使用非线性理论研究土的应力应变关系成为可能。随着研究的不断深入,必将建立崭新的土力学理论。传统的独立基础、条形基础、筏基和箱基的设计水平也得到不断的提高,考虑上部结构—基础—地基共同作用的设计方法的逐步采用,使地基基础设计更加符合实际。桩的模型试验和理论研究的深入,将桩的设计方法提高到新的水平,在理论和实践方面都有不少建树。在桩的荷载传递机理的研究、桩土共同作用的研究、群桩变形计算与控制理论及计算方法等方面取得了很多的成果。在桩基础型式得到长足发展的同时,地下连续墙、沉井等基础型式在建筑中也得到大量的使用,设计理论也逐步完善。在勘察、测试技术、基坑支挡结构、地基处理等方面都取得了长足的进展,人类解决高难度、高精度、大规模复杂基础工程问题的能力大大提高,城市、交通、水利建设发生了令人惊叹的变化。

展望新世纪,土力学及基础工程学科将以更快的速度向前发展,并为人类的未来作出更大的贡献。

第一章 土的物理性质

第一节 土的形成

土是由原岩经风化、剥蚀、搬运、沉积而成的。

风化作用是一种使岩石产生物理和化学变化的破坏作用。岩石风化后变成粒状物质，导致强度降低，透水性增强。风化作用根据其性质和影响因素的不同可分为物理风化、化学风化和生物风化三种类型。由于温度变化和岩石裂隙中水的冻结以及岩类的结晶引起岩石表面逐渐破碎崩解，这种过程称为物理风化。这一作用仅使岩石机械破碎，风化产物与母岩矿物成分相同，其化学成分没有发生变化。地表岩石在水溶液、大气以及有机体的化学作用或生物化学作用下引起的破坏过程称为化学风化。它不仅破坏岩石的结构，而且使其化学成分改变，从而形成新的矿物（次生矿物）。例如，处于花岗岩风化带中的正长石，其表面常有一层白色粉末状物质，这是正长石经化学风化所形成的新矿物高岭土。化学风化主要有氧化、水化、水解、溶解和碳酸化等作用。生物活动过程中对岩石产生的破坏过程称为生物风化。如穴居地下的蚯蚓、树根生长时施加周围岩石的压力、鼠类等活动都可以引起岩石的机械破碎。生长在岩石表面的细菌、苔藓类分泌的有机酸溶液可产生化学作用，分解岩石的成分，促使岩石发生变化。

土在地表分布极广，成因类型也很复杂。不同成因类型的沉积物，各具有一定的分布规律、地形形态及工程性质，下面简单介绍几种主要类型。

一、残积物

地表岩石经风化残留在原地的碎屑物，称为残积物（见图 1-1）。它的分布受地形的控制。在宽广的分水岭上，由于地表水流速很小，风化产物能够留在原地，形成一定的厚度。在平缓的山坡或低洼地带也常有残积物分布。

残积物中残留碎屑的矿物成分，在很大程度上与下卧基岩一致，这是它区别于其他沉积物的主要特征。例如，砂岩风化剥蚀后生成的残积物多为砂岩碎块。由于残积物未经搬运，其颗粒大小未经分选和磨圆，故其颗粒大小混杂，均质性差，土的物理力学性质各处不一，且其厚度变化大。因此，在进行工程建设时，要注意残积物地基的不均匀性。我国南部地区的某些残积物，还具有一些特殊的工程性质。如，由石灰岩风化而成的残积红粘土，虽然其孔隙比较大，含水率高，但因其结构性强因而承载能力高。又如，由花岗岩风化而成的残积土，虽室

内测定的压缩模量较低，孔隙也比较大，但其承载力并不低。

二、坡积物

高处的岩石风化产物，由于受到雨雪水流的搬运，或由于重力的作用而沉积在较平缓的山坡上，这种沉积物称为坡积物。它一般分布在坡腰或坡脚，其上部与残积物相接（见图 1-2）。

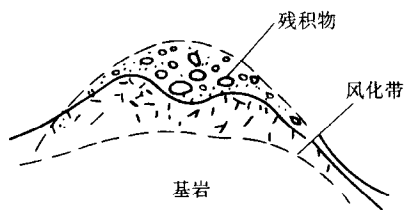


图 1-1 残积物

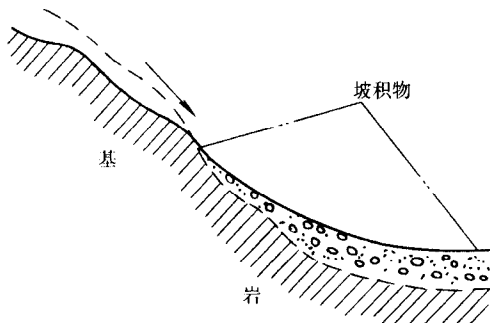


图 1-2 坡积物

坡积物随斜坡自上而下逐渐变缓，呈现由粗而细的分选现象，但层理（层理是由于沉积物的物质成分、颜色、颗粒大小不同而在垂直方向上表现出来的成层现象）不明显。其矿物成分与下卧基岩没有直接关系，这是它与残积物明显区别之处。

坡积物底部的倾斜度取决于下卧基岩面的倾斜程度，而其表面倾斜度则与生成的时间有关。时间越长，搬运沉积在山坡下部的物质越厚，表面倾斜度也越小。在斜坡较陡地段的厚度常较薄，而在坡脚地段的坡积物则较厚。

由于坡积物形成于山坡，故较易沿下卧基岩倾斜面发生滑动。因此，在坡积物上进行工程建设时，要考虑坡积物本身的稳定性和施工开挖后边坡的稳定性。

三、洪积物

由暴雨或大量融雪骤然集聚而成的暂时性山洪急流，将大量的基岩风化产物或基岩剥蚀、搬运、堆积于山谷沟出口或山前倾斜平原而形成洪积物。由于山洪流出沟谷口后，流速骤减，被搬运的粗碎屑物质先堆积下来，离山渐远，颗粒随之变细（见图 1-3），其分布范围也逐渐扩大。洪积物地貌特征，靠山近处窄而陡，离山较远处宽而缓，形似扇形或锥体，故称为洪积扇（锥）（见图 1-4）。

洪积物质离山区由近渐远颗粒呈现由粗到细的分选作用，碎屑颗粒由于搬运距离短，颗粒的磨圆度仍然不佳。又由于山洪大小交替和分选作用，常呈现不规则交错层理构造，并有夹层或透镜体（在某一土层中存在的形状似透镜的局部其他沉积物）等。

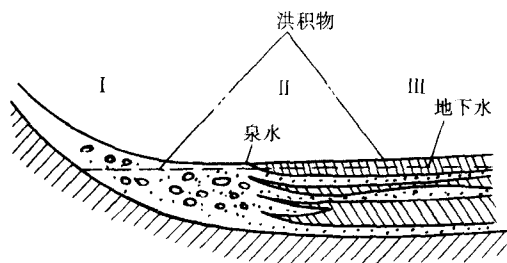


图 1-3 洪积物

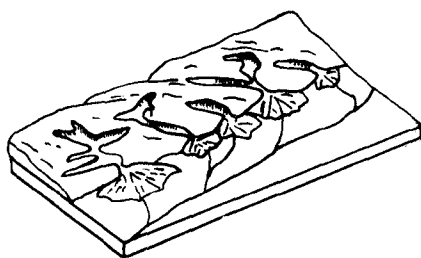


图 1-4 洪积扇(锥)

从工程观点可把洪积物分为三个部分：靠近山区（见图 1-3 中的 I 地段）的洪积物，颗粒较粗，所处的地势较高，而地下水位低，且地基承载力较高，常为良好的天然地基；离山区较远地段（见图 1-3 中 III 地段）洪积物多由粉粒、粘粒组成，由于形成过程受到周期性干旱作用，土体被析出的可溶盐胶结而较坚硬密实，承载力较高；中间过渡地段（见图 1-3 中 II 地段）常常由于地下水溢出地表而造成宽广的沼泽地，土质较弱而承载力较低。

四、冲积物

河流两岸的基岩及其上部覆盖的松散物质，被河流流水剥蚀后，经搬运、沉积于河道坡度较平缓的地带而形成的沉积物，称为冲积物。冲积物的特点是具有明显的层理构造。经过长距离的搬运过程，颗粒的磨圆度好。随着从上游到下游的流速逐渐减小，冲积物具有明显的由粗到细的分选现象。上游冲积物多为粗大颗粒，中下游冲积物大多为细小颗粒。

五、其他沉积物

除了上述几种成因类型的沉积物外，还有海洋沉积物、湖泊沉积物、冰川沉积物及风积物等，它们分别是海洋、湖泊、冰川及风的地质作用而形成。下面只简略介绍海洋沉积物和湖泊沉积物。

（一）海洋沉积物

海洋按海水深度及海底地形划分为滨海区、浅海区、陆坡区及深海区。

滨海沉积物主要由卵石、圆砾和砂等粗碎屑物质组成（可能有粘性土夹层），具有基本水平或缓倾斜的层理构造，在砂层中常有波浪作用留下的痕迹。作为地基，其强度尚高，但透水性较大。

浅海沉积物主要有细颗粒砂土、粘性土、淤泥和生物化学沉积物（硅质和石灰质等）。离海岸愈远，沉积物的颗粒愈细小。浅海沉积物具有层理构造，其中砂土较滨海区更为疏松，因而压缩性高且不均匀；一般近岸粘土质沉积物的密度小、含水率高，因而其压缩性大、强度低。

陆坡和深海沉积物主要是有机质软泥，成分均一。

(二) 湖泊沉积物

湖泊沉积物可分为湖边沉积物和湖心沉积物。

湖边沉积物主要由湖浪冲蚀湖岸、破坏岸壁形成的碎屑物质组成的。在近岸带沉积的多数是粗颗粒的卵石、圆砾和砂土；远岸带沉积的则是细颗粒的砂土和粘性土。湖边沉积物具有明显的斜层理构造。作为地基时，近岸带有较高的承载力，远岸带则差些。

湖心沉积物是由河流和湖流夹带的细小悬浮颗粒到达湖心后沉积形成的，主要是粘土和淤泥，常夹有细砂、粉砂薄层，称为带状粘土，这种粘土压缩性高、强度低。

第二节 土的组成

土是由岩石经风化生成的松散沉积物。它的物质成分包括构成土的骨架的矿物颗粒及充填在孔隙中的水和气体。一般来说，土就是由颗粒（固相）、水（液相）和气（气相）所组成的三相体系。当孔隙全部被水充满时，形成饱和土；当孔隙中只有空气时，即为干土。饱和土和干土均属二相体系。土体中颗粒大小和矿物成分差别很大，各组成部分的数量比例也不同，土粒与其周围的水又发生复杂的作用。因此，要研究土的工程性质就必须了解土的组成以及土的结构构造。

一、土的固体颗粒

土的固体颗粒（土粒）构成土的骨架，土粒大小与其颗粒形状、矿物成分、结构构造存在一定的关系。粗大颗粒往往是岩石经物理风化作用形成的碎屑，其形状呈块状或粒状，常形成单粒结构；而细小土粒主要是化学风化形成的次生矿物和有机质，多呈片状，形成蜂窝或絮状结构。砂土和粘土是两种不同的土类，其颗粒形状、矿物成分、结构构造各不相同，这主要是由于它们的颗粒组成显著不同所致。

(一) 土的颗粒级配

在自然界中很难遇到由大小相同的颗粒组成的土，绝大多数是由大小不同的土粒组成。土粒大小及其矿物成分的不同，对土的物理力学性质影响极大。当土粒的粒径由粗到细逐渐变化时，土的性质相应地也发生变化，由量变引起质变。随着土粒粒径变小，土由无粘性且透水性强变为透水性弱、有粘性和可塑性。因而，在研究土的工程特性时，应将土中不同粒径的土粒，按某一粒径范围，分为若干粒组。划分时同一粒组的土，其物理力学性质应较为接近。粒组与粒组之间的分界尺寸称为界限粒径。

表 1-1 列出土粒粒组的划分方法，即将土粒划分为六大粒组：漂石或块石、卵石或碎石、圆砾或角砾、砂粒、粉粒及粘粒。各组的界限粒径分别是 200mm、

20mm、2mm、0.075mm 和 0.005mm。

土中土粒的大小及其组成情况，通常以土中各个粒组的相对含量（各粒组占土粒总质量的百分数）来表示，称为土的粒径级配。

表 1-1 土粒粒组的划分

粒 组 名 称	粒径范围/mm	一 般 特 征
漂石或块石颗粒	>200	透水性大，无粘性，无毛细水
卵石或碎石颗粒	200~20	透水性大，无粘性，无毛细水
圆砾或角砾颗粒	20~2	透水性大，无粘性，毛细水上升高度不超过粒径大小
砂粒	2~0.075	易透水，当混入云母等杂物时透水性减小，而压缩性增加；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
粉粒	0.075~0.005	透水性小；湿时稍有粘性，遇水膨胀小，干时稍有收缩；毛细水上升高度较大较快，极易出现冻胀现象
粘粒	<0.005	透水性很小；湿时有粘性、可塑性，遇水膨胀大，干时收缩显著；毛细水上升高度大，且速度较慢

土中各个粒组的相对含量可通过颗粒分析试验得到。颗粒分析方法目前有筛分法、密度计法或移液管法两种。前者适用于粒径大于 0.075mm 的土，后者适用于粒径小于 0.075mm 的土（《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999）。

筛分法是用一套不同孔径的标准筛，将风干、分散的具有代表性的土样，放入一套从上到下、筛孔由粗到细排列的标准筛进行筛分，称出留在各个筛子上的颗粒质量，并算出相应的质量百分比，由颗粒分析结果可判断土粒的级配情况及确定土的名称。标准筛孔径由粗筛孔径（60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm）及细筛孔径（2.0mm、1.0mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm）组成。

颗粒分析试验结果可用表或曲线表示。表 1-2 为表格法表示某土样的颗粒分析结果。图 1-5 所示的为根据试验结果绘出的粒径级配累积曲线。根据上述两个方法整理出来的结果可确定土的分类名称。

表 1-2 筛分法颗粒分析表

试 样 编 号	b									
筛孔直径/mm	20	10	5	2	1.0	0.5	0.25	0.075	底盘<0.075	总计
留筛土质量/g	100	10	40	10	110	280	270	110	70	1000
占全部土质量的百分数 (%)	10	1	4	1	11	28	27	11	7	100
大于该孔径的土质量百分数 (%)	10	11	15	16	27	55	82	93	—	—
小于该孔径的土质量百分数 (%)	90	89	85	84	73	45	18	7	—	—

注：取风干试样 1000g 进行试验。

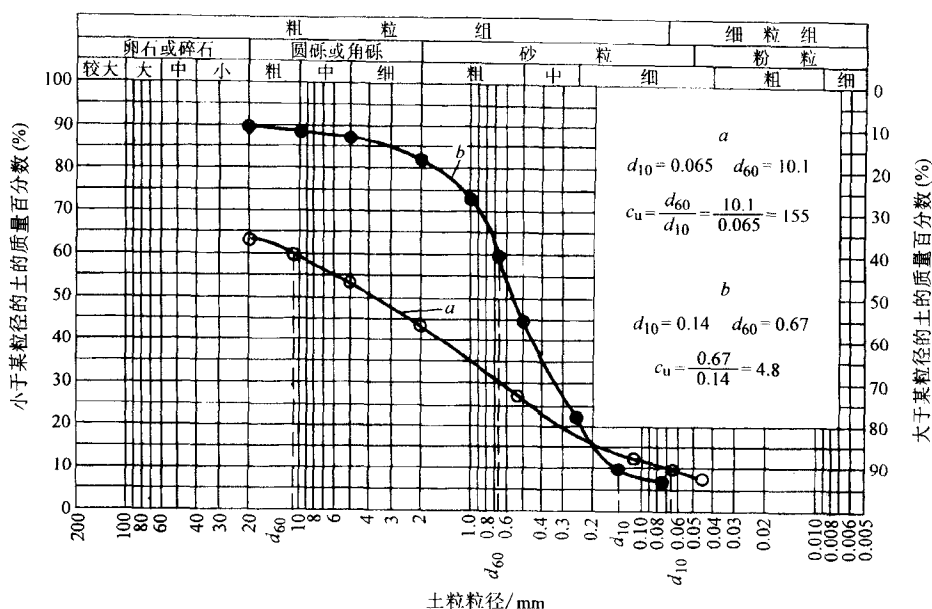


图 1-5 粒径级配曲线示意图

用粒径级配曲线表示试样颗粒组成情况是一种比较完善的方法，它能表示土的粒径分布和级配。图中纵坐标表示小于（或大于）某粒径的土的含量（以质量的百分数表示），横坐标表示粒径。由于土的粒径相差悬殊，采用对数表示，可以把粒径相差几千、几万倍的颗粒的含量表达得更清楚一些。图 1-5 中曲线 *a*、*b* 分别表示两个试样颗粒组成情况，由曲线的坡度陡缓可以大致判断土的均匀程度。如曲线较陡（试样 *b*），则表示颗粒大小相差不大，土粒较为均匀，土粒级配不良；反之，曲线平缓，则表示粒径相差悬殊，土粒级配良好。

工程上常用不均匀系数 c_u 来反映粒径级配的不均匀程度

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

式中 d_{60} ——小于某粒径的土粒质量累计百分数为 60% 时相应的粒径，又称限制粒径；

d_{10} ——小于某粒径的土粒质量累计百分数为 10% 时相应的粒径，又称有效粒径。

把 $c_u < 5$ 的土，如 *b* 试样 ($c_u = 4.8$)，看作是均粒土，属级配不良。把 $c_u > 10$ 的土看作级配良好，如 *a* 试样 ($c_u = 155$)。在填土工程中，可根据不均匀系数 c_u 值来选择土粒。若 c_u 值较大，则土粒较为不均匀。这种土比之粒径均匀的土 (c_u 值较小) 易于夯实。