



高等学校“十一·五”精品规划教材

土力学与地基基础

主 编 刘振京
副主编 王 扬 杜学玲 康拥政
主 审 张力霆



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校“十一五”精品规划教材

土力学与地基基础

主 编 刘振京
副主编 王 扬 杜学玲 康拥政
主 审 张力霆

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第013229号

 清华大学图书馆	书 名 土力学与地基基础 作 者 刘振京 王扬 杜学玲 康拥政 出版 中国水利水电出版社 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 83202386 (总编), 88321832 (营销中心) 北京科水图书营销中心 (零售) 电话: (010) 88383994, 83202643 全国各地图书馆及各大书店均有代售
中国水利水电出版社出版发行 北京市兴华印刷厂 787mm×1092mm 16开本 14印张 332千字 2007年4月第1版 2007年4月第1次印刷	书 号 9554·0001 定 价 35.00元



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

责任编辑: 李静 封面设计: 李静 印刷: 兴华印刷厂 地址: 北京市西城区百万庄大街2号 邮编: 100044

内 容 提 要

本教材根据 GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》、GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》及 JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》等的规范要求系统地阐述了土的物理性质与工程分类、土中应力计算、地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、天然地基上浅基础设计、桩基础及其他深基础简介、地基处理等。

本书既可作为水利水电、土木工程、工业与民用建筑、道路交通、地下工程、桥涵基础工程、港口码头工程和水土保持工程等高等学校相关专业教材用书及农业水利技术人员岗位培训用书,也可供相关专业工程技术人员参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与地基基础/刘振京主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 978-7-5084-4373-7

I. 土… II. 刘… 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 (2007) 第 017959 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 土力学与地基基础
作 者	主编 刘振京 副主编 王扬 杜学玲 康拥政 主审 张力霆
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 14 印张 332 千字
版 次	2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	29.00 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



高等学校“十一·五”精品规划教材

工程力学 (高职高专适用)

大学数学 (一) (高职高专适用)

大学数学 (二) (高职高专适用)

水资源规划及利用

水力学

环境水利学

灌溉排水工程学

水利工程施工

水利水电工程概预算

工程制图

工程制图习题集

水利工程监理

水利水电工程测量

理论力学

材料力学

土力学

土力学与地基基础

工程水文学

地下水利用

结构力学

水文地质与工程地质

水利科技写作与实例

电路理论

计算机网络

高电压技术

单片机原理及接口技术

电子与电气技术

Visual FoxPro 6 数据库与程序设计

大学计算机基础

可编程控制器原理与应用

电力系统微机继电保护

电力系统继电保护原理

信号与系统

数字信号处理

数字电子技术基础

模拟电子技术

水电厂计算机监控系统

电机与拖动

控制电机

电磁场与电磁波

自动控制原理

电路分析基础

电工电子技术简明教程

前言

《土力学与地基基础》是水利水电、土木工程、工业与民用建筑、道路交通、地下工程、桥涵基础工程、港口码头工程和水土保持工程类专业的主干课程，它包括土力学、地基基础两大部分内容。

本教材遵循 GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》、GB 50021—2002《岩土工程勘察规范》及 JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》等的规范标准的要求，兼顾我国地域辽阔、幅员广大、土质区域性强的特点，突出应用性与针对性。本教材理论部分尽可能以够用为度，删繁就简；实用内容尽量充实加强，力求更新。本教材具有内容精练，体系完整，紧密结合实际的特点。根据课程要求，书中附有针对性较强的例题、思考题及习题。

本教材由刘振京任主编并统稿，王扬、杜学玲、康拥政任副主编。本教材的绪论、第一章、第五章、第六章、第八章由刘振京编写，第二章由康拥政编写，第三章、第七章的第一～第五节由王扬编写，第四章由杜学玲编写，第七章的第六节、第七节及部分习题由王虎妹编写。全书由张力霆主审。在本教材的编写过程中得到了秦植海教授的大力支持，在此表示感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 11 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 概述	5
第二节 土的生成	5
第三节 土的组成	7
第四节 土的三相比比例指标	12
第五节 无黏性土的密实度	16
第六节 黏性土的稠度	17
第七节 土的压实原理	20
第八节 地基土(岩)的工程分类	21
思考题	27
习题	27
第二章 土中应力计算	29
第一节 概述	29
第二节 自重应力	29
第三节 基底压力	31
第四节 地基附加应力	34
思考题	52
习题	52
第三章 地基变形计算	54
第一节 概述	54
第二节 土的压缩性	54
第三节 基础最终沉降量计算	57
第四节 土的渗透性与渗透变形	68
第五节 饱和黏性土的单向渗透固结理论	71
第六节 建筑物的地基变形允许值	79
思考题	81
习题	81

第四章 土的抗剪强度与地基承载力	83
第一节 概述	83
第二节 土的抗剪强度定律	83
第三节 土的强度指标测定	89
第四节 地基破坏过程及按塑性区发展范围确定地基承载力	95
第五节 按极限荷载确定地基承载力	99
思考题	105
习题	105
第五章 土压力与土坡稳定	107
第一节 土压力的种类与影响因素	107
第二节 静止土压力的计算	109
第三节 朗肯土压力理论	109
第四节 库仑土压力理论	114
第五节 特殊情况的土压力计算	118
第六节 挡土墙稳定分析	121
第七节 土坡稳定分析	130
思考题	136
习题	137
第六章 天然地基上浅基础设计	139
第一节 概述	139
第二节 浅基础的类型	141
第三节 基础埋置深度的选择	145
第四节 地基承载力特征值的确定	148
第五节 基础底面尺寸的确定	150
第六节 地基的变形和稳定性验算	156
第七节 浅基础设计	157
思考题	169
习题	169
第七章 桩基础及其他深基础简介	171
第一节 概述	171
第二节 桩的类型	172
第三节 单桩竖向承载力的确定	175
第四节 群桩承载力的计算	180
第五节 桩的水平承载力	182
第六节 桩基础的设计	183
第七节 其他深基础简介	192

思考题	194
习题	195
第八章 地基处理	196
第一节 概述	196
第二节 换土垫层法	197
第三节 加载预压和真空预压法	201
第四节 强夯法	203
第五节 深层挤密法	205
第六节 化学加固法	207
第七节 土工合成材料在工程中的应用	209
第八节 托换法	210
思考题	214
习题	214
参考文献	215

绪 论

一、土力学与地基基础的概念

任何建筑物都支承于地层上，受建筑物荷载影响的那一部分地层称为地基。建筑物的下部通常要埋入地下一定的深度，使之坐落在较好的地层上，建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础。建筑物的地基、基础如图 0-1 所示。

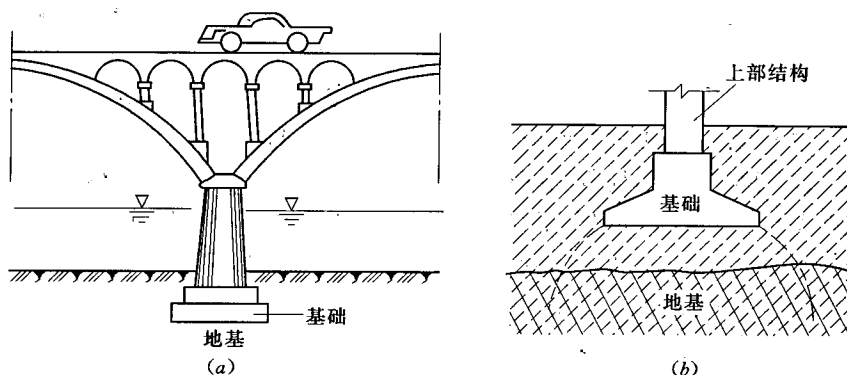


图 0-1 地基与基础

地球表面的大块岩石经自然界风化、搬运、沉积等地质作用形成松散的堆积物或沉淀物，在建筑工程中称为土。土是各种矿物颗粒的集合体。土是自然界的产物，它与其他建筑材料在质地、强度等诸多方面存在着较大差异。特别是某些土在含水量很高的情况下，压缩性很大、承受荷载的能力很低。

由于土的形成年代、生成环境及矿物成分不同，所以其性质也是复杂多样的。例如，沿海及内陆地区的软土，华北、东北及西北地区的黄土，分布在全国各地区的黏土、膨胀土和杂填土等，都具有不同的性质。因此，进行建筑物设计之前，必须对建筑场地进行勘察，提出工程地质报告。然后根据上部荷载、桥梁涵洞或房屋使用及构造上的要求，采用一些必要的措施，使地基变形不超过其允许值，并保证建筑物和构筑物是稳定的。

《土力学与地基基础》这门课程，包括土力学及地基基础两部分。土力学是利用力学的一般原理，研究土的应力应变、强度和渗透等特性及其随时间变化规律的学科，它是力学的一部分。地基基础主要研究常见的房屋、桥梁、涵洞等地基基础的类型、设计计算和施工方法。

未经人工处理的地基，称为天然地基。如果地基软弱，其承载力及变形不能满足设计要求时，则要对地基进行加固处理，这种地基称为人工地基（例如采用机械压实、强力夯实、换土垫层、排水固结等方法处理过的地基）。

基础根据埋深不同可分为浅基础和深基础。对一般房屋的基础，如土质较好，埋深通常不大于 1~3m，可用简便的方法开挖基坑和排水，这类基础称为浅基础。如果建筑物荷

载较大或上部地层较软弱时, 需要把基础埋置于深处坚实的地层, 这时要采用特殊的基础类型或特殊的施工方法, 这种基础称为深基础 (例如桩基础、沉井、地下连续墙等)。

建筑物的地基、基础和上部结构三部分, 虽然各自功能及研究方法不同, 但对一个建筑物来说, 在荷载作用下, 三者都是相互联系、相互制约的整体。目前, 由于受人们对建筑物的研究程度及计算方法的限制, 要把三者完全统一起来进行设计计算还不现实。但在解决地基基础问题时, 从地基—基础—上部结构相互作用的整体概念出发, 全面考虑问题, 乃是建筑物设计的发展方向。

二、本课程在建筑工程中的重要性

地基与基础是建筑物一个重要的组成部分, 又属于地下隐蔽工程, 因此它的质量好坏关系到建筑物的安全、经济和正常使用。由于基础工程在地下或水下进行, 施工难度较大, 造价、工期和劳动消耗量在整个工程中占的比重均较大。视建筑物复杂程度和设计施工是否合理, 基础工程费用在建筑物的总造价中所占的比重变幅很大, 其工期可占总工期的 $1/4$ 以上。如果采用人工地基或深基础, 则工期和造价所占的比例将更大。实践证明, 建筑物事故的发生, 很多与地基基础有关, 并且地基基础一旦发生事故, 将不易补救。

建于 1941 年的加拿大特朗斯康谷仓 (见图 0-2), 由 65 个圆柱形筒仓组成, 高 31m, 宽 23m, 其下为筏板基础, 由于事前不了解基础下埋藏有厚达 16m 的软黏土层, 建成后初次储存谷物时, 基底压力超过了地基承载力, 致使谷仓一侧突然陷入土中 8.8m, 另一侧则抬高 1.5m, 仓身倾斜达 27° 。这是地基发生整体滑动、建筑物失稳的典型例子。由于该谷仓整体性较强, 谷仓完好无损, 事后在下面做了 70 多个支承于基岩上的混凝土墩, 用 388 个 500kN 的千斤顶, 才将仓体扶正, 但其标高比原来降低了 4m。

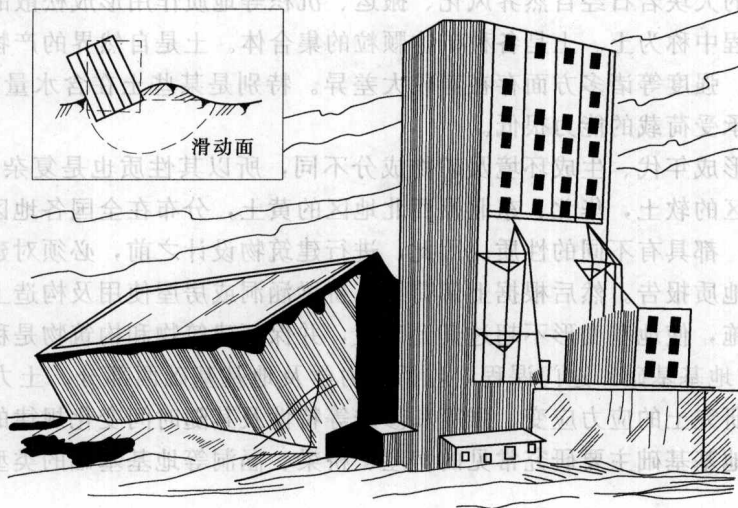


图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

建于 1954 年的上海工业展览馆中央大厅, 总重约 10000t, 平面尺寸为 $45\text{m} \times 45\text{m}$ 的两层箱形基础。地基为厚约 14m 的淤泥质软黏土。建成后基础当年下沉 0.6m, 目前大厅平均下沉量达 1.6m。墙面由于不均匀沉降而产生较大裂缝。

又如 1173 年兴建的意大利比萨斜塔, 当建至 24m 时发现倾斜, 被迫停工。100 年后续建至塔顶 (高约 55m)。至今塔身一侧下沉了 1m 多, 另一侧下沉了约 3m, 倾斜 5.8° 。1932 年曾于塔基灌注了 1000t 水泥, 效果仍然不明显。近年该塔以每年 1mm 的速度仍在下沉, 成为世界上著名的基础工程问题。

以上工程实例说明, 在建筑物地基基础设计中必须遵守两条规则: ①应满足地基强度要求; ②地基变形应在允许范围之内。这就要求工程技术人员熟练掌握土力学与地基基础的基本原理和主要概念, 结合建筑场地及建筑物的结构特点, 因地制宜地进行设计和必要的验算。

三、本课程的特点和学习方法

本课程是一门理论性与实践性均较强的课程, 内容广泛、综合性强, 学习时应抓住重点, 兼顾全面。从专业要求出发, 必须牢固掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学的基本概念和原理, 从而应用这些概念和原理, 并结合建筑结构设计和施工知识, 分析和计算地基基础问题。

土由固体颗粒、土中水和气体组成, 土颗粒构成土的骨架, 土中孔隙由气体和液体填充, 所以我们称土体为三相体系。与连续介质比较, 更具复杂性, 而且受环境影响较大。现有的土力学理论还很难准确地模拟天然土层在荷载作用下所显现出来的力学性质。所以, 土力学虽是指导人们进行地基基础设计的重要理论依据, 但还应通过实验、实测, 并根据实践经验进行综合分析, 才能获得比较满意的结果。只有通过这种理论与实践的反复比较, 才能逐步提高对理论的认识, 从而不断增强解决地基基础问题的能力。

我国土地辽阔, 幅员广大, 由于自然地理环境的不同, 分布着多种不同的土类, 如软弱土、湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土和红黏土等。天然地层的性质和分布, 不但因地而异, 即使在较小的范围内, 也可能有很大的变化, 因此不能像其他建筑材料一样, 有统一的规格可供查阅。每一建筑场地都必须进行地基勘察, 采取原状试样进行土工测试, 以其试验结果作为地基基础设计的依据。

本教材与理论力学、材料力学、结构力学、建筑材料、水力学、工程地质、钢筋混凝土及砖石结构有较密切的联系, 学习本课程之前应该具备上述课程的基本知识。本教材中遇到与这些课程有关的内容时, 只引用其公式、结论、而不再进行公式的推导。

四、本学科的发展简况

土力学与地基基础既是一门古老的工程技术, 又是一门新兴的应用学科。

我国劳动人民远在春秋战国时期开始兴建的万里长城以及隋唐时期修通的南北大运河, 穿越各种复杂的地质条件, 历尽千百年风雨沧桑而不毁, 被誉为亘古奇观; 宏伟壮丽的宫殿寺院, 要依靠精心设计的地基基础, 才能逾千百年而流存至今; 遍布各地的高塔, 正是由于有牢固的基础, 才能遇多次强震而无恙。隋朝李春作为石匠在河北省修建的赵州石拱桥, 不仅因其建筑和结构设计而闻名于世, 其地基基础处理也是非常合理的。他将桥台砌置于密实粗砂层上, 1300 多年来估计沉降量仅几厘米, 现在通过验算桥台的基底压力约为 $500 \sim 600 \text{ kPa}$, 这与用现代土力学理论方法给出的该土层的承载力非常接近。

18 世纪工业革命的兴起, 大规模的城市建设和水利、铁路的兴建, 遇到了许多与土有关的力学问题, 积累了许多成功的经验, 也总结了不少失败的教训, 它促使人们对土的

研究寻求理论上的解释。随之土力学的理论才开始逐渐产生和发展。1773 年,法国库仑 (Coulomb) 根据实验提出了砂土的抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑动楔体理论;1857 年,英国朗肯 (Rankine) 又从另一途径建立了土压力理论,对后来土体强度理论的建立起了推动作用;之后,布森涅斯克 (Boussinesq) 求得了弹性半空间体在集中力作用下的应力、应变理论解答;弗伦纽斯 (Follenius) 为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析方法。这些理论和方法至今仍作为土力学的基本理论被广泛应用着。1925 年美国土力学专家太沙基 (Terzaghi) 的《土力学》专著发表,土力学才成为一门独立学科,以后在工程实践中不断丰富、提高。

20 世纪 50 年代开始,现代科技成就特别是电子技术渗入了土力学与地基基础的研究领域。实验技术实现了自动化、现代化,人们对地层的性质有了更深的了解。土力学理论和基础工程技术出现了令人瞩目的进展。

长期以来,在计算地基变形时,假定土体是弹性体;在进行挡土墙土压力计算和边坡稳定分析时,又将土看作理想的刚性体。而实际土体的应力应变关系是非线弹性的,因此确切地讲,土力学的理论对于那些高重建筑物的设计,其相符性和精度是远远不能满足要求的。借助电子技术及试验技术,许多学者已开展了土的弹塑性应力应变关系的研究,提出了各种结构模型,有些已用于工程计算和分析。我国不少学者对土力学理论的发展也做出了可贵的贡献。如陈宗基教授 1957 年提出的土流变学和黏土结构模式,已被电子显微镜观测证实;黄文熙教授 1957 年提出非均质地基考虑侧向变形影响的沉降计算方法和砂土液化理论。我国成功地建造了一大批高层建筑,解决了大量复杂基础工程问题,为土力学与地基基础理论研究和实践积累了丰富的经验。

当然,由于土的性质的复杂性,到目前为止,土力学与地基基础理论虽已有了很大发展,但与其他成熟学科相比较尚不完善,在假定条件下得出的理论,应用于实践时多带有近似性,有待于人们不断实践、研究,以获得更加令人满意的突破。

第一章 土的物理性质及工程分类

第一节 概 述

土是岩石经风化、搬运、沉积的产物。不同的土其矿物成分和颗粒大小存在着很大差异，颗粒、水和气体的相对比例也各不相同。所以，要研究土体所具有的工程性质，就必须了解土的三相组成以及在自然界土中的结构和构造等特征。

土体的物理性质，如轻重、软硬、干湿、松密等在一定程度上决定了土的力学性质，它是土的最基本的特征。土的物理性质由三相物质的性质、相对含量以及土的结构构造等因素决定。在工程设计中，需要掌握这些物理性质的测定方法和指标间存在的换算关系，熟悉按有关特征及指标对地基土进行工程分类及初步判定土体的工程性质。

本章主要内容为土的生成、土的组成、土的物理性质指标、无黏性土的密实度、黏性土的稠度、土的压实原理及土的工程分类。

第二节 土 的 生 成

构成天然地基的物质是地壳外表的土和岩石，厚度一般为 30~80km，地壳以下存在着高温、高压的复杂的硅酸盐熔融体，即人们所说的岩浆。岩浆活动可使岩浆沿着地壳薄弱地带侵入地壳或喷出地表，岩浆冷凝后生成的岩石称为岩浆岩。在地壳运动和岩浆活动的过程中，原来生成的各种岩石在高温、高压及挥发性物质的变质作用下，生成另外一种新的岩石，称为变质岩。原来岩石受气温变化、风雪、山洪、河流、湖泊、海洋、冰川、生物等的作用，产生风化，不断剥蚀，产生新的产物——碎屑。这些风化产物在山洪、河流、海浪、冰川或风力作用下，被剥蚀、搬运到大陆低洼处或海洋底部沉积下来。在漫长的地质年代中，沉积物越来越厚，在上覆压力和胶结物质的共同作用下，最初沉积下来的松散碎屑逐渐被压密、脱水、胶结、硬化生成一种新的岩石，称为沉积岩。而上述过程中，未经成岩过程而形成的沉积物，即是通常所说的土。

风化主要分为物理风化和化学风化两种。长期暴露在大气中的岩石，受到温度、湿度变化的影响，体积经常在膨胀、收缩，从而逐渐崩解、破裂为大小和形状各异的碎块，这个过程称为物理风化。物理风化的过程仅限体积大小和形状的改变，而不改变颗粒的矿物成分。其产物保留了原来岩石的性质和成分，称为原生矿物，自然界中粗颗粒土即无黏性土就是物理风化的产物。如果原生矿物与周围的氧气、二氧化碳、水等接触，并受到有机物、微生物的作用，发生化学变化，产生出与原来岩石颗粒成分不同的次生矿物，这个过程称为化学风化。化学风化所形成的细粒土，颗粒之间具有黏结能力，通常称为黏性土。自然界中这两种风化过程是同时或交替进行的，所以原生矿物与次生矿物是堆积在一起

的，这就是我们所见到的性质复杂的土。

土由于不同的成因而具有各异的工程地质特征，下面简单介绍几种主要类型。

1. 残积土

残积土是残留在原地未被搬运的那一部分原岩风化剥蚀后的产物，而另一部分已被风和水流带走（见图 1-1）。未被搬运的颗粒棱角分明。残积土与基岩之间没有明显的界限，一般分布规律是上部为残积土，中部为风化带，下部为新鲜岩石。残积土中残留碎屑的矿物成分在很大程度上和下卧岩层一致，根据这个道理也可推测下卧岩层的种类。由于残积土没有层理构造，土的物理性质相差较大；有较大的孔隙，作为建筑地基容易引起不均匀沉降。

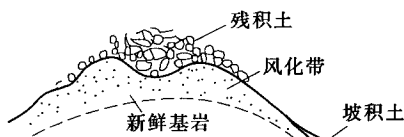


图 1-1 残积土示意图

2. 坡积土

坡积土是降水水流的作用力将高处岩石风化产物缓慢冲刷、剥蚀，顺着斜坡向下逐渐移动，沉积至较平缓的山坡上而形成的沉积物。它分布于坡腰至坡脚，上部与残积土相接，基岩的倾斜程度决定了坡积土的倾斜度（见图 1-2）。坡积土随斜坡自上而下呈现由粗而细的分选现象，矿物成分与下卧基岩无直接关系，这一点与残积土不同。

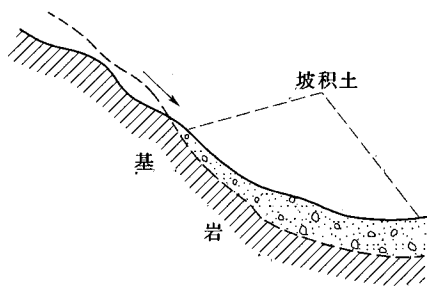


图 1-2 坡积土示意图

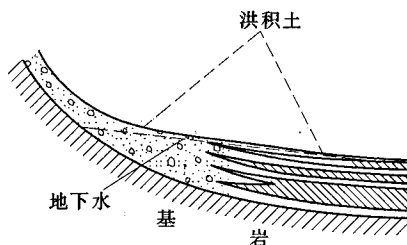


图 1-3 洪积土示意图

坡积土由于在山坡形成，故常发生沿下卧基岩斜面的滑动。组成坡积土的粗细颗粒混杂，土质不均匀，厚度变化大，土质疏松，压缩性较大。

3. 洪积土

降水造成的暂时性山洪急流具有很大的剥蚀和搬运能力。它可以挟带地表大量碎屑堆积在山谷冲沟出口或山前平原而形成洪积土。山洪流出山谷后，因过水断面增大，流速骤减，被搬运的粗颗粒大量堆积下来，离山越远，颗粒越细，分布范围也越大（见图 1-3）。

洪积土的颗粒虽因搬运过程中的分选作用而呈现由粗到细的变化，但由于搬运距离短，颗粒棱角仍较明显。由于靠近山地的洪积土颗粒较粗，承载力一般较高，属于良好的天然地基。离山较远的地段所形成的洪积土颗粒较细，成分均匀，厚度较大，这部分土分为两种情况，一种因受到周期性干旱的影响，土质较为密实，是良好的天然地基；另一种由于场地环境影响，地下水溢出地表，造成沼泽地带，因此承载力较低。

4. 冲积土

冲积土是流水的作用力将河岸基岩及上部覆盖的坡积土、洪积土剥蚀后搬运、沉积在

河道坡度较平缓的地带形成的。随着水流的急、缓、消失重复出现，冲积土呈现出明显的层理构造。由于搬运过程长，搬运作用显著，棱角颗粒经碰撞、滚磨逐渐形成亚圆形或圆形的颗粒。搬运距离越长，沉积的颗粒越细。

5. 其他沉积土

除上述几种沉积土之外，还有海洋沉积土、湖泊沉积土、冰川沉积土和风积土。它们分别由海洋、湖泊、冰川及风的地质作用而形成。下面仅介绍湖泊沉积土。

湖泊沉积土主要由湖浪冲击湖岸破坏岸壁形成的碎屑组成。近岸带沉积的主要为粗颗粒，远岸带沉积的是细颗粒。近岸带有较高的承载能力，远岸带则差些。湖心沉积物是由河流和湖流夹带的细小颗粒到达湖心后沉积形成的，主要是黏土和淤泥，常夹有细砂、粉砂薄层，称为带状土。这种土压缩性高，强度低。这种土与冲积平原沿海地区的土很接近，如天津、沧州一带沿海地区俗称“千层饼”的土。

第三节 土 的 组 成

一、土的固体颗粒

(一) 土粒的矿物组成

土中固体颗粒的形状、大小、矿物成分及组成情况是决定土的物理力学性质的主要因素。粗大颗粒往往是岩石经物理风化后形成的碎屑，即原生矿物；而细粒土主要是化学风化作用形成的次生矿物和生成过程中混入的有机物质。粗大颗粒均成块状或粒状，而细小颗粒主要呈片状。土粒的组合情况就是大大小小的土粒含量的相对数量关系。

(二) 土的颗粒级配

自然界中的土，都是由大小不同的颗粒组成，土颗粒的大小与土的性质有密切的关系。土粒由粗到细逐渐变化时，土的性质相应发生变化，由无黏性变为有黏性，渗透性由大变小。粒径大小在一定范围内的土粒，其性质也比较接近，因此可将土中不同粒径的土粒，按适当的粒径范围，分成若干小组，即粒组。划分粒组的分界尺寸称界限粒径。表 1-1 是常用的粒组划分方法，表中根据界限粒径 200mm、20mm、2mm、0.075mm 和 0.005mm 把土粒分成六大粒组：即漂石（块石）颗粒、卵石（碎石）颗粒、圆砾（角砾）颗粒、砂粒、粉粒和黏粒。

表 1-1 土 粒 的 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，无黏性，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，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	10~5	
	细	5~2	
砂 粒	粗	2~0.5	易透水，当混入云母等杂质时透水性减小，而压缩性增加；无黏性，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	

续表

粒组名称		粒径范围 (mm)	一般特征
粉粒	粗	0.075~0.01	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较快，极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
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

- 注 1. 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状（圆形或亚圆形）；块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。
2. 黏粒又称黏土粒；粉粒又称粉土粒。
3. 黏粒的粒径上限也有采用 0.002mm 的。

土中各粒组相对含量百分数称为土的颗粒级配。

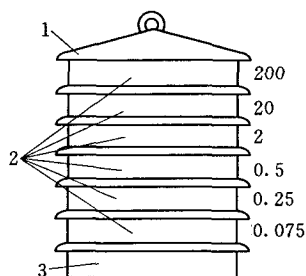


图 1-4 标准筛（单位：mm）
1—筛盖；2—筛盘；3—底盘

土的各粒组含量可通过土的颗粒分析试验测定。方法是
将土样风干。分散之后，取具有代表性的土样倒入一套按孔径大小排列的标准筛（例如孔径为 200mm、20mm、2mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm 的筛及底盘，见图 1-4），经振摇后，分别称出留在各个筛及底盘上土的质量，即可求出各粒组相对含量的百分数。小于 0.075mm 的土颗粒不能采用筛分的方法分析，可采用比重计法测定，它是利用大小不同的土粒在水中的沉降速度不同来确定小于某粒径的土粒含量的方法，具体方法步骤见 GB/T 50123—1999《土工试验方法标准》等。

根据颗粒大小分析试验结果，在半对数坐标纸上，以纵坐标表示小于某粒径颗粒含量占总土量的百分数，横坐标表示颗粒直径，绘出颗粒级配曲线（见图 1-5）。由曲线的陡缓大致可判断土的均匀程度。如曲线较陡，则表示颗粒大小相差不多，土粒均匀；反之曲线平缓，则表示粒径大小相差悬殊，土粒不均匀。

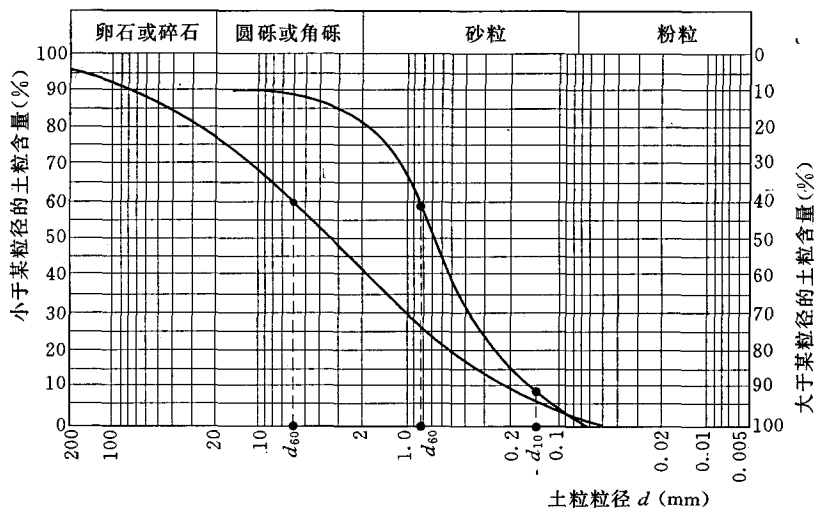


图 1-5 颗粒级配曲线

在工程中,采用定量分析的方法判断土的级配,常以不均匀系数 C_u 表示颗粒的不均匀程度,即:

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

式中 d_{60} ——小于某粒径颗粒含量占总土重的 60% 时的粒径,该粒径称为限定粒径;

d_{10} ——小于某粒径颗粒含量占总土重的 10% 时的粒径,该粒径称为有效粒径。

不均匀系数反映颗粒的分布情况, C_u 越大,表示颗粒分布范围越广,越不均匀,其级配越好,作为填方工程的土料时,比较容易获得较大的干密度; C_u 越小,颗粒越均匀,级配不良。工程中将 $C_u < 5$ 的土称为级配不良的土, $C_u > 10$ 的土称为级配良好的土。

颗粒级配可以在一定程度上反映土的某些性质。对于级配良好的土,较粗颗粒间的孔隙被较细的颗粒填充,因而土的密实度较好,相应地基土的强度和稳定性也较好,透水性和压缩性较小,可用作路基、堤坝或其他土建工程的填方土料。

二、土中水

一般情况下,土中总是含有水。土中细粒越多,水对土的性质影响越大,对水的研究,包括其存在状态和与土的相互作用。存在于土粒晶格之间的水称为结晶水,它只有在较高的温度(大于 105℃)下才能化为气态水与土粒分开。从工程性质分析,结晶水作为矿物的一部分,建筑工程中所讨论的土中水,主要是以液态形式存在着的结合水与自由水。

(一) 结合水

结合水是指在电分子引力下吸附于土粒表面的水。这种电分子引力高达几千到几万个大气压,使部分水分子和土粒表面牢固地黏结在一起。

由于土粒表面一般带有负电荷,围绕土粒形成电场,在土粒电场范围内的水分子和水溶液中的阳离子被吸附在土粒表面。原来不规则排列的极性水分子,被吸附后呈定向排列。在靠近土粒表面处,由于静电引力较大,能把水化离子和极性分子牢固地吸附在颗粒表面而形成固定层。在固定层外围,静电引力比较小,水化离子和极性水分子活动性比在固定层中大些,形成扩散层。由此可将结合水成分成强结合水和弱结合水两种。

1. 强结合水

强结合水是指紧靠土粒表面的结合水。它的特征是:没有溶解盐类的能力,不能传递静水压力,只有吸热变成蒸汽时才能移动。这种水分子极牢固地结合在土颗粒表面上,其性质接近固体,密度约为 1.2~2.4g/cm³,冰点为 -78℃,具有极大的黏滞性、弹性和抗剪强度。如果将干燥的土放在天然温度的空间,土的质量增加,直到土中强结合水达到最大吸着度为止。土粒越细,吸着度越大。黏性土只有强结合水存在时,呈固体状态。

2. 弱结合水

弱结合水为紧靠强结合水外围形成的一层结合水膜。它仍不能传递静水压力,但水膜较厚的弱结合水能向邻近较薄的水膜缓慢移动。当土中含有较多的弱结合水时,土则具有一定的可塑性。因砂粒比表面积较小,几乎不具有可塑性。而黏性土的比表面积较大,含薄膜水较多,其可塑范围较大,这就是黏性土具有黏性的原因(见图 1-6)。