



高等学校精品规划教材

TULIXUE

土力学

刘福臣 成自勇 崔自治 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校精品规划教材

土力学

主 编 刘福臣 成自勇 崔自治

副主编 王士杰 刘 冶 刘挨刚



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容包括土的物理性质与工程分类、土的渗透性、地基应力计算、土的压缩性、土的抗剪强度、土压力、地基承载力、土坡稳定分析、特殊性土、地基处理和桩基础等。注重基本理论、基本概念的阐述,采用最新的技术规范,引用了最新的研究成果,强调基本原理的工程应用。

本书适用于水利水电工程专业、水文与水资源工程专业、农业建筑工程等专业,同时也适用于土木工程、公路桥梁工程、港口工程等专业。另外也可作为工程技术人员和注册岩土师、注册结构师考试的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/刘福臣,成自勇,崔自治主编. —北京:中国水利水电出版社,2005

高等学校精品规划教材

ISBN 7-5084-2971-0

I. 土... II. ①刘...②成...③崔... III. 土力学—高等学校—教材 IV. TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第063776号

书 名	高等学校精品规划教材 土力学
作 者	刘福臣 成自勇 崔自治 主编
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	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 23印张 545千字
版 次	2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	34.00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

本书为“高等学校精品规划教材”的系列教材之一。在编写过程中，曾广泛征求有关院校近年来对本课程的教学意见，注意采用最新的规范，引用最新的研究成果，将成熟的研究成果渗透和反映到教材中，以适应教学要求。

本书内容全面、重点突出、注重实用性，便于自学和应用，各章均附有例题、思考题、习题。本书适用于水利水电工程专业、水文与水资源工程专业、农业建筑工程等专业，同时也适用于土木工程、公路桥梁工程、港口工程等专业。另外，也可作为工程技术人员和注册岩土师、注册结构师考试的参考用书。

本书由刘福臣、成自勇、崔自治担任主编，王士杰、刘冶、刘挨刚担任副主编，刘福臣负责统稿。具体编写分工如下：绪论由刘福臣编写，第一章由刘东、王延恩编写，第二章由王华敬编写，第三章由王士杰编写，第四章由刘挨刚编写，第五章由成自勇编写，第六章由刘冶、张丽娟编写，第七章由崔自治编写，第八章由王霞云编写，第九章由李海燕编写，第十章由安淑红、韩汝钊编写，第十一章由刘福臣、李念国编写。在编写过程中参考并引用了有关院校编写的教材和有关文献资料，得到了沈阳农业大学、东北农业大学、宁夏大学、甘肃农业大学、河北农业大学、山东农业大学、山东水利职业学院等院校的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2005年5月

目 录

前言

绪论	1
第一章 土的物理性质与工程分类	6
第一节 土的形成与成因类型	6
第二节 土的组成	9
第三节 土的结构和构造	14
第四节 土的物理性质指标	16
第五节 土的物理状态指标	21
第六节 土的击实性	26
第七节 土的工程分类	28
小结	32
思考题	32
习题	33
第二章 土的渗透性	34
第一节 土的渗透性	34
第二节 渗透力与渗透变形破坏	41
第三节 二维渗流与流网	46
小结	50
思考题	50
习题	51
第三章 土中应力计算	52
第一节 概述	52
第二节 土的自重应力	53
第三节 基底压力与基底附加应力	55
第四节 地基中附加应力	59
第五节 地基的非均质性和各向异性对附加应力的影响	76
第六节 土的有效应力原理	77
小结	81
思考题	83
习题	83

第四章 土的压缩性及地基沉降计算	86
第一节 土的压缩性	86
第二节 土的固结状态	92
第三节 地基沉降量计算	96
第四节 考虑应力历史地基沉降量计算	107
第五节 地基沉降量随时间变化的计算	110
小结	119
思考题	120
习题	121
第五章 土的抗剪强度	123
第一节 概述	123
第二节 摩尔—库仑强度理论	124
第三节 土的极限平衡条件	125
第四节 土的剪切试验	129
第五节 无粘性土的抗剪强度	138
第六节 粘性土的抗剪强度	139
第七节 土的抗剪强度影响因素及抗剪强度指标的选择	145
第八节 应力路径	147
小结	149
思考题	149
习题	149
第六章 土压力	151
第一节 土压力类型	151
第二节 静止土压力	152
第三节 朗肯土压力理论	153
第四节 库仑土压力理论	157
第五节 工程上土压力计算	163
第六节 挡土墙的设计	170
第七节 土压力讨论	175
小结	178
思考题	179
习题	181
第七章 地基承载力	184
第一节 地基破坏模式	184
第二节 临塑荷载和塑性荷载	187
第三节 地基极限荷载	191
第四节 原位试验确定地基承载力	202

第五节 《规范》法确定地基承载力	213
小结	226
思考题	226
习题	227
第八章 土坡稳定分析	228
第一节 概述	228
第二节 无粘性土土坡的稳定分析	229
第三节 粘性土坡稳定分析	230
第四节 几种特殊情况下的土坡稳定分析	241
第五节 滑坡的防治和土坡稳定的安全系数	249
小结	251
思考题	252
习题	252
第九章 特殊性土	254
第一节 概述	254
第二节 软弱土	255
第三节 饱和粉土和饱和砂土	257
第四节 湿陷性黄土	262
第五节 膨胀土	272
第六节 冻土	277
小结	281
思考题	281
习题	281
第十章 地基处理	283
第一节 概述	283
第二节 换土垫层法	285
第三节 预压固结法	288
第四节 强夯法	295
第五节 复合地基理论	298
小结	320
思考题	320
习题	320
第十一章 桩基础	322
第一节 概述	322
第二节 单桩竖向承载力的计算	326
第三节 桩的水平承载力	334
第四节 桩的负摩阻力	339

第五节 群桩基础	341
第六节 桩基础设计	351
小结	355
思考题	355
习题	356
参考文献	357

绪 论

一、土力学的研究对象

土力学的研究对象是土，是研究土的物理力学性质和土的渗透、变形、强度、稳定特性的一门学科。土力学是力学的一个分支，它的研究领域很广，现在已形成许多分支，如土动力学、计算土力学、海洋土力学、冻土力学。

土是自然历史的产物，是地表岩石经长期风化作用，不断破碎、分解形成碎屑颗粒，经过各种地质营力（如水力、风力等）的搬运作用，形成的松散堆积物。土粒之间存在孔隙，具有多孔性，颗粒孔隙内充满了水和气体，故土是由土粒、水、气体组成的三相体系，它既不同于固体，也不同于流体，为不连续介质，是介于两者之间的散状体。它具有强度低、压缩性大、渗透性大、复杂多变的特点。

在工程建设中，土往往作为不同的研究对象。如在土层上修建房屋、桥梁、道路、堤坝时，土是用来支承建物传来的荷载，这时在土层内一定范围的应力状态发生变化，我们将应力状态发生变化的这部分土体称为建筑物的地基，而建筑物的地下部分称为基础；路堤、土坝等土工构筑物，土就是用作建筑材料；在挡土墙、隧洞及地下建筑等，土又是建筑物周围的介质，土压力的大小、类型，将直接影响到建筑物的稳定和安全。因此土的性质对建筑物具有直接而重大的影响。

土体是散状体，对于砂性土，土体颗粒之间无联结能力；对于粘性土，其联结能力较差，因此土的抗剪强度很低。在荷载作用下，容易产生剪切破坏。如土坝滑坡、地基的失稳破坏、挡土墙的倾倒与滑动，都是由于土中的剪应力超过土的抗剪强度而产生剪切破坏。

由于土具有多孔性，故易于产生压缩变形。土作为建筑物地基时，在荷载作用下易产生压缩变形，引起建筑物沉降。当地基土不均匀或上部荷载为偏心受压时，很容易产生不均匀沉降，导致建筑物开裂、倾斜甚至倒塌破坏。当荷载较大时，上部荷载超过了地基的承载力时，地基产生剪切破坏，建筑物发生破坏，引起重大质量事故。

著名的意大利比萨斜塔，于1173年开始修建，当建至24m时发现倾斜，被迫停工。100年后建至塔顶，至今塔身一侧下沉了1m多，另一侧下沉了约3m，倾斜 5.8° ，至今仍以每年1mm的速度下沉，成为当今著名的基础工程问题。该斜塔2000年上半年采取从地基向上抽取土的办法，历经4个月，使塔身移动了43.8cm，倾斜度减少了 0.5° ，塔的寿命可延长300年；上海工业展览中央大厅，总重10000t，其基础为箱形基础，地基为厚约14m的淤泥质粘土。建成后基础当年下沉0.6m，墙面因不均匀沉降产生较大的裂缝；加拿大的特朗斯康谷仓，由于事先不了解基础下分布有16m厚的软粘土层，建成后初次贮藏谷物时，基底压力超过地基的承载力，致使谷仓一侧突然陷入土中8.8m，另一侧抬高1.5m，仓身倾斜达 27° 。由于该谷仓基础和上部结构刚度较好，谷仓完好无损。后在谷仓下增设70个支承于岩石中的混凝土墩，用388个500kN的千斤顶，才将谷仓扶正，

但其标高比原来降低了 4m。

土又是一种透水性很强的材料，土的渗透性影响到工程造价大小和质量安全。在基坑开挖过程中，大量的地下水涌进基坑，造成施工困难；在水利工程中，对于闸坝地基，在上下游的水头差的作用下，在地基和坝体内产生渗流和渗透变形破坏。土的渗流性一方面增大了渗流量，影响到水库蓄水效益；另一方面，渗流也会产生流沙、管涌等现象，引起堤坝破坏。

另外，土的种类众多，不同种类的土，其工程性质相差很大。土的组成及工程性质与母岩成分、风化作用类型、搬运条件、沉积环境条件关系密切。按照土的成因，第四纪松散堆积物分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖积土、海积土和风成土。如残积土具有磨圆度差、分选性差、孔隙大的特点，而冲积土由于搬运距离较远，具有磨圆度好、分选性好的特点，两者的工程性质相差很大；如湖积土，由于是在缓慢流水或静水环境下沉积的，其土颗粒较细，土体具有蜂窝结构或絮状结构，具有孔隙比大、压缩性大、抗剪强度低的特点，为工程上的不良地基。我国幅员辽阔，由于地域条件不同，土的沉积环境不同，产生了许多区域性土，这些土类除了具有一般土的性质外，还具有一些特殊的工程性质，因此又称为特殊性土，如淤泥、饱和砂土和饱和粉土、湿陷性黄土、膨胀土、红粘土、冻土等。饱和砂土和饱和粉土在震动荷载的作用下，孔隙水压力上升，引起土的有效应力降低，土体产生流动，形成液化，土的液化将直接影响到建筑物的安全与稳定；黄土遇水后发生湿陷变形称为土的湿陷性，湿陷性将引起地基产生附加变形，引起建筑物开裂、裂缝，甚至产生倒塌；膨胀土是工程上常遇的特殊性土，它具有遇水膨胀、失水收缩的特点。修建在膨胀土地基上的轻型建筑物，如民房、道路、机场跑道，在反复的胀缩性作用下，建筑物发生裂缝、开裂，影响建筑物的使用和安全。因此，必须研究土的这些性质，并提出各种防治措施，必要时应进行地基处理。

综上所述，为保证各类建筑物的正常使用、安全与经济，不发生各类质量事故，必须全面分析研究土的物理性质和工程特性，要求作用在地基上的荷载强度不超过地基的承载力，控制基础的沉降量不超过变形的容许值，控制渗流，确保建筑物不产生渗透变形破坏。

二、土力学的研究内容及学习方法

1. 土力学研究内容

本课程共分 11 章，主要介绍土力学的基本理论、基本概念，研究地基与基础工程设计和施工中常用的技术问题，并安排了一定的工程实例。

第一章土的物理性质与工程分类，是土力学的基础部分，主要介绍土的三相组成，掌握土的物理性质和土的物理状态指标的定义、物理概念、计算公式。要求熟练地掌握物理性质指标的三相换算；掌握土的工程分类的依据与定名。

第二章土的渗透性，主要介绍土的渗透规律，渗透试验，渗透力及渗透变形破坏形式，流网的概念及应用。

第三章土中应力计算，主要介绍自重应力、附加应力的计算，土的有效应力原理。

第四章土的压缩性及地基沉降量计算，主要介绍土的压缩性指标的测定方法和两种常用的地基沉降计算方法，了解饱和土的单向固结理论和地基沉降与时间的关系，了解地基

变形值的概念和影响因素以及防止有害沉降的措施。

第五章土的抗剪强度，主要介绍莫尔-库仑强度理论、土的剪切试验、应力路径等理论。

第六章土压力，主要介绍土压力类型，朗肯与库仑土压力理论，挡土墙的设计。

第七章地基承载力，主要介绍地基破坏模式，临塑荷载、临界荷载、极限荷载的计算，利用原位测试、规范法确定地基承载力等。

第八章土坡稳定分析，主要介绍无粘性土边坡、粘性土边坡的稳定分析方法，以及特殊情况下土坡稳定分析。

第九章特殊性土，主要介绍软弱土、饱和砂土和饱和粉土、湿陷性黄土、膨胀土、冻土的概念，计算方法等。

第十章地基处理，主要介绍工程常见的地基处理方法，包括换土垫层法、预压固结法、强夯法、复合地基理论等。

第十一章桩基础，主要介绍桩基础的类型，单桩垂直、水平承载力，桩的负摩阻力，群桩基础的验算等。

2. 土力学课程的学习方法

土力学是土木工程、水利水电工程、水文与水资源工程、农业土木工程等专业的一门技术基础课，涉及的自然学科范围很广，涉及到地质学、材料力学、结构力学、水力学等学科。该课程具有理论公式多、概念抽象、系统性差、计算工作量大、实践性强等特点，因此要求在学习中注意以下问题。

(1) 强化基本概念、基本理论的学习。对于土力学中的某些基本理论、基本概念内容，要牢固地掌握，并熟练地应用到实际工程中。如土的物理性质指标的计算，始终贯穿于土力学课程之中，只要掌握了土的物理性质指标的概念及计算方法，对于后面的内容如地基应力计算、地基沉降量计算，便可迎刃而解；又如在土压力计算、地基承载力计算、土坡稳定分析三章内容，表面上看三者没有任何联系，但在计算中都要用到土的内摩擦角、凝聚力两个抗剪强度指标，因此只要熟练掌握土的抗剪强度试验，加深对土的内摩擦角、凝聚力的理解，在学习中可以相互联系、领会贯通。

(2) 重视土工试验，加强动手操作能力。为加强学生对土力学内容的理解，提高分析问题、解决问题的能力，该课程一般安排 8 学时左右的土工试验，包括土的密度、含水率、比重、液限、塑限、压缩、剪切、渗透等试验，要求学生掌握相关试验的原理，独立完成试验操作步骤、试验成果的整理。有条件的学校尽可能采用设计性试验或综合性试验，指导学生参加土工试验生产任务，独立完成系统土工试验。

(3) 加强案例学习，提高理论联系实际的能力。土力学课程中的大多数内容，就是一个工程实例。学生应加强案例学习，逐步提高理论联系实际的能力。如地基沉降量计算、土压力计算及挡土墙设计、土坡稳定分析、地基承载力计算等内容，都是工程设计中的常见设计内容，学生做的作业，就是一个工程设计。在走向工作岗位后，都要面对这些课题，因此学生应尽快适应这一特点。有条件的学校可以开设一周的课程设计，效果会更明显。

随着我国加入 WTO，各项注册制度已陆续进行。注册岩土工程师、注册结构工程

师、注册建筑师、注册监理师，都要考试土力学课程。尤其注册岩土工程师考试，要开考岩土工程勘察、浅基础、深基础（桩基础）、地基处理、边坡与深基坑工程、特殊性岩土工程、地震工程、工程经济等8个科目。这8个科目的大多数内容与土力学密切相关，熟练掌握土力学内容，对于各种注册考试意义重大。

三、本学科的发展概况

土力学既是一门古老的学科，同时又是一门新兴的学科。它伴随着生产实践的发展而发展。称它是古老的学科，是因为人类自古以来就广泛利用土作为建筑材料和建筑物地基。我国在古代就成功地解决了某些地基基础技术问题，如万里长城、大运河、赵州桥等。印度的一些土坝，至今已蓄水2000年以上，罗马人早在2000年以前就成功建造了许多桥梁、道路和渠道工程。这些工程积累了丰富的经验，具有重要的科学价值。说其为新兴学科，是由于它的发展长期处于感性认识阶段，在理论上直到18世纪才有所局部突破，许多理论还欠成熟。

18世纪工业革命的兴起，大规模的城市建设，水利、铁路的兴建，遇到了与土有关的力学问题，积累了许多成功的经验，也遇到了失败的教训。它促使人们对土的研究寻求理论上的解释。

1773年库仑（Coulomb）根据试验建立了库仑强度理论，随后发展了库仑土压力理论。接着库仑于1776年又发表了土的抗剪强度理论，指出无粘性土的强度取决于粒间摩擦力，粘性土的强度由粘聚力和摩擦力两部分组成，以上统称为库仑理论。

1856年法国工程师达西（Darcy, H）在研究砂土透水性的基础上，提出了著名的达西定律。同时期，斯笃克（Stoks, G. G）研究了固体颗粒在液体中的沉降规律。

1857年英国工程师朗肯（Rankine, W. J. K）假定挡土墙后土体为均匀的半无限空间体，应用塑性理论来解土压力问题。

1885年布辛奈斯克（Boussinesq, J）在研究半无限空间体表面作用有集中力的情况下，提出了土中应力的解析解，称为布辛奈斯克课题，它是各种竖直分布荷载下应力计算的基础。

1916年瑞典彼得森（Pettersson, K. E）首先提出，继而由美国泰勒（Taylor, D. W）和瑞典费伦纽斯（Fellenius, W）等进一步发展了的圆弧滑动法。该方法被广泛用于土坡稳定问题的分析。

1920年法国普朗特（Prandtl, L）发表了地基滑动面计算的数学公式，至今仍是计算地基承载力的基本方法。

1925年土力学才真正成为一门独立学科，太沙基（Terzaghi, K）著名的教科书“Eubakmeceanik”的出版，被公认为是近代土力学的开始。他在总结实践经验和大量试验的基础上提出了很多独特的见解，其中土的有效应力原理和固结理论，是对土力学学科突出贡献。

20世纪50~60年代，基本上处于对土力学理论和技术的完善和发展阶段。1955年毕肖普（Bishop, A. W）提出土坡稳定计算中考虑竖向条间力的方法，应用有效强度指标计算土坡稳定。20世纪50年代后期，詹布（Janbu, N）与摩根斯坦（Morgenslern, N. R）等人相继提出了考虑条间力，滑动面取任意形状的上坡稳定计算方法，在强度理论、强度

计算等方面进一步发展了摩尔—库仑准则。

随着电子计算机的问世和应用，土力学也进入了全新的阶段。新的非线性应力、应变关系和应力、应变模型（如邓肯—张模型，剑桥模型）的建立，标志着土力学进入了计算机模拟阶段。

从1936年开始，每4年一次的国际土力学与基础工程会议一直延续至今。各大洲区域性的土力学会议2~4年召开一次，国际性的土工刊物《岩土工程》（Geotechnique）已创刊多年。美国土木工程学会（ASCE）编写的《土力学与基础工程》已改名为《岩土技术》（Gemechnical）杂志。这些会议和期刊的创办，较大地推动了学科的交流和发展。

1949年新中国成立后，我国进行了大规模的工程建设，成功地处理了许多大型的基础工程。如武汉、南京长江大桥，葛洲坝水利枢纽工程，上海宝山钢铁厂，三峡工程以及众多的高层建筑都为验证土力学的理论，积累了丰富的经验，也为本学科的应用提供了广阔的基地。

我国有不少学者对土力学理论的发展是有所建树的。如陈宗基教授对土流变学和粘土结构模式的研究，黄文熙教授对砂土振动液化和地基沉降的研究等，都对现代土力学发展作出了突出的贡献。近年来，我国还在室内及原位测试，地基处理技术，新设备、新工艺、新材料的研究及应用等领域取得很大进展。例如，振冲法、深层搅拌法、高压旋喷法、真空预压法、强夯法等均取得较好的经济技术效果。这些新技术的应用对土力学理论和实践产生很大的促进作用。

我国相继颁布了《土工试验规程》、《土工试验方法标准》、《土的分类标准》、《建筑地基基础设计规范》、《岩土工程勘察规范》、《地基处理技术规范》、《建筑桩基技术规范》、《湿陷性黄土地基设计规范》、《膨胀土地基设计规范》等规范，这些规范的建立为土力学的发展提供了有利的技术保障。随着工程建设和工程技术的不断发展，土力学这门既年轻又古老的学科必将得到新的发展。

第一章 土的物理性质与工程分类

第一节 土的形成与成因类型

一、土的形成

“土”一词在不同的学科领域有其不同的涵义。就土木工程领域而言，土是指覆盖在地表的没有胶结和弱胶结的颗粒堆积物。土与岩石的区分仅在于颗粒间胶结的强弱，所以，有时也会遇到难以区分的情况。

在自然界，土的形成过程是十分复杂的，但根据它们的来源，可分为两大类：即无机土和有机土。天然土绝大多数是由地表岩石在漫长的地质历史年代经风化作用形成的无机土，所以，通常说土是岩石风化的产物。

这里所说的风化包括物理风化和化学风化。物理风化是指由于温度变化、水的冻胀、波浪冲击、地震等引起的物理力使岩体崩解、碎裂成岩块、岩屑的过程。例如，岩体冷却时引起的变温应力或地表附近日常的气温变化都可导致岩体开裂，若雨水渗入这些裂缝后冻结，冻胀将促使裂缝张开，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，大风刮起的沙、砾的撞击亦可引起岩体迅速剥落和岩块摔裂。化学风化是指岩体（或岩块、岩屑）与空气、水和各种水溶液相接触，经过氧化、碳化和水化作用分解为极细颗粒的过程。此外，生物活动也可促进风化的进程。相比较而言，物理风化使岩石产生量的变化，而化学风化则使岩石产生质的变化。在自然界中，这两种风化作用往往是同时或交替进行的，所以，任何一种天然土通常既有物理风化的产物，又有化学风化的产物。

土的沉积年代不同，其工程性质将有很大变化，所以，了解土的沉积年代的知识，对正确判断土的工程性质是有实际意义的。土的沉积年代通常采用地质学中的相对地质年代来划分。所谓相对地质年代，是指根据主要地壳运动和古生物演化顺序，将地壳历史划分的时间段落。最大的时间单位称为代，每个代分为若干纪，纪分为若干世。

大多数的土是在第四纪地质年代沉积形成的，这一地质历史时期是距今较近的时间段落（大约 100 万年）。在第四纪中包括四个世，即早更新世（用符号 Q_1 表示）、中更新世（ Q_2 ）、晚更新世（ Q_3 ）和全新世（ Q_4 ）。由于沉积年代不同、地质作用不同以及岩石成分不同，使各种沉积土的工程性质相差很大。

二、土的成因类型

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）残积土

地表岩石经过风化、剥蚀以后，残留在原地的碎屑物，称为残积土（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土分布。

残积土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土的主要特征。例如，砂岩风化剥蚀后生成的残积土多为砂岩碎块。由于残积土未经搬运，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，要注意残积土地基的不均匀性，防止建筑物的不均匀沉降。我国南部地区的某些残积土，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）坡积土

高处的岩石风化产物，由于受到雨水、融雪水流的搬运，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土。它一般分布在坡腰或坡脚，其上部与残积土相接（见图 1-2）。

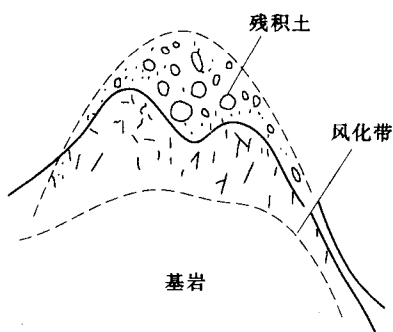


图 1-1 残积土

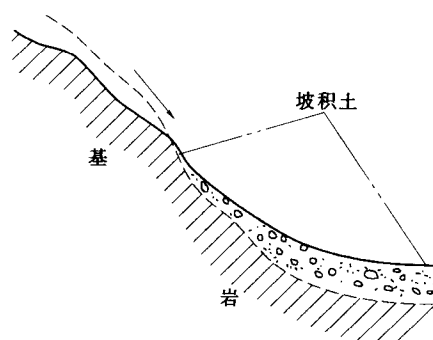


图 1-2 坡积土

坡积土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，这是它与残积土明显区别之处。

坡积土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。在斜坡较陡地段的坡积土常较薄，而在坡脚地段的坡积土则较厚。

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

（三）洪积土

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、堆积于山谷冲沟出口或山前倾斜平原而形成洪积土。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。

从工程观点可把洪积土分为三个部分：靠近山区（见图 1-3 中的 I 地段）的洪积土，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）洪积土多由粉粒、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。

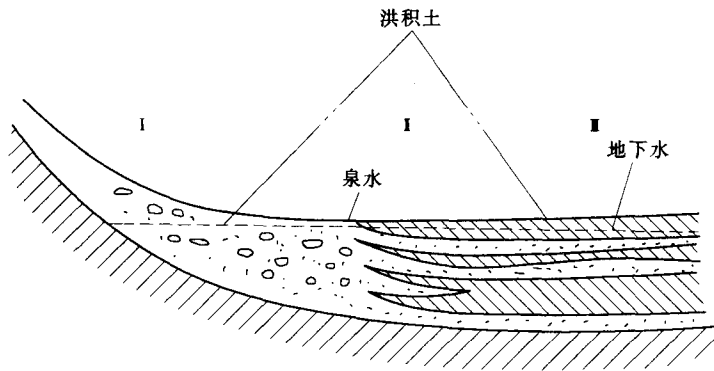


图 1-3 洪积土

（四）冲积土

由河流的水流将岩屑搬运、沉积在河床较平缓地带，所形成的沉积物称为冲积土。河流冲积土在地表的分布很广，主要类型如下。

1. 平原河谷冲积土

平原河谷冲积土包括下列几种。

（1）河床沉积土。上游河床颗粒粗，下游河床颗粒细。因岩屑经长距离搬运，颗粒具有一定的磨圆度。粗砂与砾石的密度较大，为良好的天然地基。

（2）河漫滩沉积土。此种沉积土常为上下两层结构，下层为粗颗粒土，上层为洪水泛滥时的细粒土，并且往往夹有局部的有机土、淤泥和泥炭。

（3）河流阶地沉积土。由地壳的升降运动与河流的侵蚀、沉积作用形成的狭长台地，称为河流阶地。由河漫滩向上，依次称为一级阶地、二级阶地、三级阶地。阶地的位置越高，它的形成年代越早，通常土质较好。一级阶地可能是粉土或粉砂。

（4）古河道沉积土。这是蛇曲的河流，裁弯取直改道以后的牛轭湖，逐渐淤塞而成。这种沉积土通常存在较厚的淤泥、泥炭土，压缩性高，强度低，为不良地基。

2. 山区河谷冲积土

山区河流坡度大、流速高，因而河谷冲积土多为粗粒的漂石、卵石与圆砾。冲积土的厚度一般不超过 10~15m。山间盆地和宽谷中有河漫滩冲积土，主要为含泥的砾石，具有透镜体和倾斜层理构造。

3. 山前平原冲积洪积层

山前平原沉积土有分带性：近山一带，为冲积和部分洪积的粗粒物质组成；向平原低地，逐渐变为砂土和粘性土。

4. 三角洲沉积土

河流搬运的大量泥沙，在河口沉积而成三角洲沉积土，其厚度可达数百米以上，面积也很大。水上部分为砂土或粘性土，水下部分与海、湖堆积物混合组成。此种沉积土为新近沉积土，含水率大，压缩性高，承载力低。

(五) 湖积土

湖积土可分为湖边沉积土和湖心沉积土两种。

湖边沉积土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。湖边沉积土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。

湖心沉积土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。

(六) 风成黄土

风成黄土是一种灰黄色、棕黄色的粉砂级及尘土般的风积物。风成黄土形成于第四纪，矿物成分主要为石英、长石、碳酸盐矿物， SiO_2 含量大于60%。这种黄土具有湿陷性。

除了上述六类沉积土之外，还有由于冰川的地质作用形成的冰碛土，由于遇到的机会不多，所以从略。

第二节 土的组成

自然界的土是由岩石经风化、搬运、堆积而形成的。因此，母岩成分、风化性质、搬运过程和堆积的环境是影响土的组成的主要因素，而土的组成又是决定地基土工程性质的基础。土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的，通常称为土的三相组成，随着三相物质的质量和体积的比例不同，土的性质也就不同。因此，首要的问题是要了解土是由什么物质组成的。

一、土的固体颗粒

土的固相颗粒包括无机矿物颗粒和有机质，是构成土的骨架最基本的物质，称为土粒。对土粒应从其矿物成分、颗粒的大小和形状来描述。

(一) 土的矿物成分

土中的矿物成分可以分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是指岩浆在冷凝过程中形成的矿物，如石英、长石、云母等。

次生矿物是由原生矿物经过风化作用后形成的新矿物，如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅、粘土矿物以及碳酸盐等。次生矿物按其与水的作用可分为易溶的、难溶的和不可溶的，次生矿物的水溶性对土的性质有重要的影响。粘土矿物的主要代表性矿物为高岭石、伊利石和蒙脱石，由于其亲水性不同，当其含量不同时土的工程性质就各异。

在以物理风化为主的过程中，岩石破碎而并不改变其成分，岩石中的原生矿物得以保存下来；但在化学风化的过程中，有些矿物分解成为次生的粘土矿物。粘土矿物是很细小的扁平颗粒，表面具有极强的和水相互作用的能力。颗粒愈细，表面积愈大，这种亲水的