



普通高等教育“十二五”规划教材

土力学

主 编 党进谦 李法虎
副主编 兰晓玲 刘艳华
毛小青 张永玲



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

013028519

TU43-43

43



普通高等教育“十二五”规划教材

土 力 学

主 编 党进谦 李法虎
副主编 兰晓玲 刘艳华
毛小青 张永玲
参 编 白彦真 肖 让



TU43-43

43



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn



北航

C1634983

内 容 提 要

本书系统地介绍了土力学的基本原理和分析计算方法, 主要内容包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性与渗流、土中应力计算、土的压缩与固结、土的抗剪强度、土压力与挡土结构、土坡稳定分析、地基承载力和土工试验等。各章后附有思考题和习题。

本书可作为高等院校土木工程、水利工程专业土力学课程的教材或参考书, 也可作为岩土工程研究人员和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学 / 党进谦, 李法虎主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013.3
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-0701-2

I. ①土… II. ①党… ②李… III. ①土力学—高等学校—教材 IV. ①TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第048280号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 土力学
作 者	主编 党进谦 李法虎 副主编 兰晓玲 刘艳华 毛小青 张永玲
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 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 391千字
版 次	2013年3月第1版 2013年3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, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

《土力学》是土木工程、水利工程等相关专业的一门重要的专业基础课，是用基础力学的基本原理和土工试验技术研究土的强度、变形、渗透及其规律的一门学科，具有很强的理论性和实践性。

本书是编者多年从事该学科教学、科研和生产的理论总结和实践体会，编写过程中加强了对基本概念、基本原理的论述，并注重基本理论在工程实践中的应用，力求概念清晰、层次分明、结构严谨和系统性强。

本书编写人员均为各高校一线教师，具有扎实的理论基础、丰富的工程实践经验和教学经验，能够结合本学科的最新研究成果和工程的实际需要编写本教材。本书由西北农林科技大学党进谦、中国农业大学李法虎任主编，党进谦负责全书统稿、修改以及定稿。由山西农业大学兰晓玲、沈阳农业大学刘艳华、青海大学毛小青和新疆塔里木大学张永玲任副主编。西北农林科技大学张伯平任主审。白彦真老师和肖让老师参与了本书部分章节的编写任务。具体编写分工为：第1章由党进谦编写；第2章由山西农业大学白彦真编写；第3章、第7章由兰晓玲编写；第4章由张永玲编写；第5章由毛小青编写；第6章、第10章由刘艳华编写；第8章由李法虎编写；第9章由肖让编写。

本书在编写过程中，参考了大量已出版发行的《土力学》、《土力学与地基基础》等书籍，在此谨向其作者表示衷心的感谢！

限于作者水平，书中难免有不妥之处，恳请同行专家和广大读者批评指正。

编者

2013年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 土力学的学习目的	1
1.2 土力学的研究内容	2
1.3 土力学的发展概况	3
第 2 章 土的物理性质及工程分类	5
2.1 土的形成	5
2.2 土的三相组成	8
2.3 土的结构和构造	12
2.4 土的物理性质指标	14
2.5 土的物理状态指标	19
2.6 土的压实原理	22
2.7 土的工程分类	25
思考题	30
计算题	30
第 3 章 土的渗透性与渗流	32
3.1 渗流引起的工程问题	32
3.2 土的渗透性与达西定律	32
3.3 土的渗透系数	34
3.4 二维渗流与流网	37
3.5 渗透力与渗透变形	40
3.6 饱和土的有效应力原理	42
思考题	43
计算题	44
第 4 章 土中应力计算	45
4.1 土中应力计算的工程意义	45
4.2 土体自重应力计算	46
4.3 基底压力分布及计算	49

4.4 空间问题土体中附加应力的计算	53
4.5 平面问题土体中附加应力的计算	64
4.6 土体中附加应力的一些其他问题	68
思考题	71
计算题	71
第5章 土的压缩与固结	73
5.1 土体变形的工程危害	73
5.2 土的压缩性与压缩性指标	73
5.3 应力历史对土的压缩性的影响	79
5.4 地基最终变形量计算	82
5.5 土的单向固结理论	94
思考题	106
计算题	106
第6章 土的抗剪强度	108
6.1 土体强度的工程应用	108
6.2 摩尔—库仑强度理论	109
6.3 土的极限平衡条件	111
6.4 抗剪强度指标的确定	116
6.5 孔隙压力系数	121
6.6 砂性土的剪切性状	124
6.7 黏性土的剪切性状	126
思考题	133
计算题	134
第7章 土压力与挡土结构	136
7.1 土压力产生的条件	136
7.2 静止土压力计算	138
7.3 朗肯土压力计算	139
7.4 库仑土压力计算	146
7.5 土压力问题讨论	149
7.6 挡土墙设计	150
思考题	156
计算题	156
第8章 土坡稳定分析	158
8.1 滑坡原因及其危害	158
8.2 土坡稳定分析及潜在滑裂面确定方法	160
8.3 无限长滑坡可能性分析	161
8.4 有限长滑坡可能性分析	165

8.5 潜在滑裂面的确定方法	184
8.6 工程中常见土坡稳定分析问题的处理	187
8.7 土坡稳定分析中几个问题的讨论	189
8.8 滑坡的预防	196
思考题	197
计算题	198
第9章 地基承载力	200
9.1 地基破坏模式	200
9.2 地基的临塑荷载与临界荷载	203
9.3 地基的极限承载力	206
9.4 地基承载力特征值的确定	215
9.5 地基承载力影响因素	217
思考题	218
计算题	219
第10章 土工试验	220
10.1 土的基本性质试验	220
10.2 土的颗粒分析试验	224
10.3 土的液、塑限测定	230
10.4 土的击实试验	232
10.5 土的渗透试验	236
10.6 土的固结(压缩)试验	241
10.7 土的直接剪切试验(快剪)	245
10.8 土的三轴剪切试验	248
参考文献	254

第1章 绪 论

1.1 土力学的学习目的

土是自然历史的产物，是由地壳表层不同成因的岩石在物理、化学、生物等风化作用后经搬运、沉积形成的松散颗粒堆积物。土与工程建设的关系十分密切，在各种工程建设中有着非常广泛的应用：①把土作为建筑物的地基，在土层上修建厂房、住宅、公路、铁路和水利工程等建筑物；②用土作为材料，修筑堤坝、路基以及空间填料等；③作为环境介质，修建地下商场、人防工程、地铁隧道和输水隧洞等。

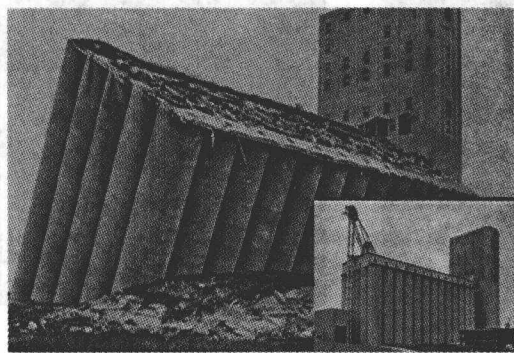


图 1-1 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

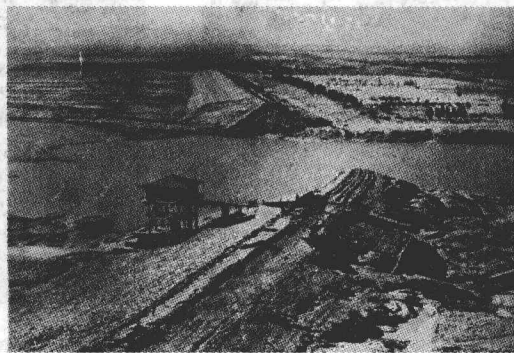


图 1-2 板桥水库溃坝事故

在几千年的人类历史中，人们一直从事着与土有关的工程建设，建造了各类宏伟的土工结构物，如横亘中国北方的万里长城，古埃及的金字塔，穿越世界屋脊的青藏铁路，各国建造的摩天大楼，高达几百米的土石坝，宽敞明亮的地下商场、地铁车站等。但也有许多失败的教训，1913 年秋完工的加拿大特朗斯康谷仓（Transcona Grain Elevator），由 65 个圆柱形筒仓组成，高 31m，南北向长 59.44m，东西向宽 23.47m，其下为 61cm 厚的钢筋混凝土筏板基础。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，使基底平均压力（320kPa）超过了地基的极限承载能力，结果谷仓西侧突然陷入土中 7.32m，东侧则抬高 1.52m，仓身倾斜 27°，如图 1-1 所示。后用 388 个 50t 千斤顶纠正后继续使用，但位置较原先下降 4m。1975 年 8 月 8 日零时 40 分，河南驻马店地区板桥水库因特大暴雨引发溃坝，东西 150km、南北 75km 范围内顿时一片汪洋，1015 万人受灾，倒塌房屋 524 万间，冲走耕畜 30 万头，京广线冲毁 102km，中断行车 16 天，直接经济损失近百亿元，成为世界上较大的水库垮坝惨剧，如图 1-2 所示。2001 年 1 月 13 日，萨尔瓦多发生的里氏 7.6 级的大地震，在 Santa Tecla 造成山体滑坡，导致一个居

民区的 800 多处房屋被湮没, 700 多人遇难, 如图 1-3 所示。

意大利的比萨斜塔设计塔高 100m 左右, 1173 年 9 月 8 日动工修建, 1178 年建到第 4 层中部, 高度约 29m 时, 由于地基不均匀和土层松软, 导致塔身向东南方倾斜而停工。1194 年后复工, 6 年时间建完第 7 层, 高 48m, 再次停工, 于 1360 年复工至 1370 年竣工。全塔共 8 层, 高度 55m。目前塔向南倾斜, 南北两端沉降差 1.8m, 塔顶偏离中心线 5.27m, 倾斜 5.5° , 是建筑物倾斜的典型事例, 如图 1-4 所示。1954 年兴建的上海展览馆, 鸟瞰犹如一架展翅翱翔的飞机, 展览馆中央大厅采用框架结构、箱形基础, 基础埋深 7.27m。因地基为厚约 14m 的高压缩性淤泥质软黏土, 建成后当年下沉 60cm。1957 年 6 月展览馆大厅四角沉降最大达 146.6cm, 最小为 122.8cm。由于沉降差过大, 导致中央大厅与两翼展览馆部分连接断裂, 影响工程的正常使用, 如图 1-5 所示。

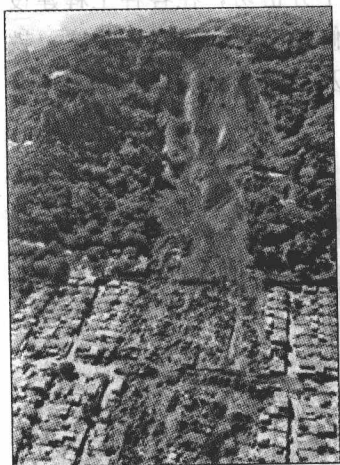


图 1-3 Santa Tecla 山体滑坡

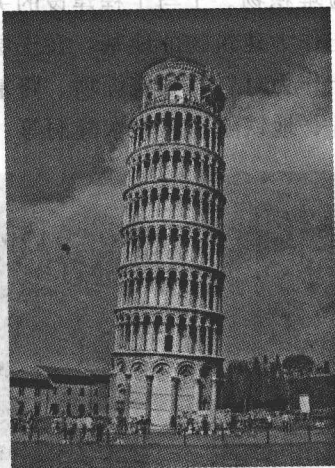


图 1-4 意大利比萨斜塔

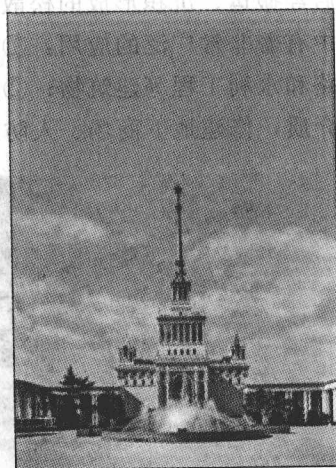


图 1-5 上海展览馆

以上工程实例表明, 学习土力学的目的: ①预防岩土灾害的发生; ②保证建筑物的安全和正常使用。也就是应用土力学的理论指导土工构筑物的计算、分析、设计、施工与维护。

1.2 土力学的研究内容

1.2.1 土的基本特性和特点

土是大小不同、形状各异的固体颗粒的集合体。颗粒之间的联结力很弱, 远小于颗粒本身的强度, 同其他材料相比, 可以认为土是碎散的, 在外力作用下颗粒之间容易产生相对移动; 颗粒之间存在大量的孔隙, 在颗粒相对移动过程中, 孔隙体积变化导致土体体积大或缩小; 颗粒之间的孔隙为水和空气充填, 土是一种由固相、液相和气相物质组成的三相体系。可见, 土是多孔 (即存在孔隙), 多相 (即颗粒、水和空气) 的碎散体。

土是在漫长的地质年代和自然条件下形成的。由于自然地理环境和沉积条件的不同,

产生了自然界中多种不同性质的土。不同地域土的性质不一样,同一场地不同深度土的性质不一样,同一点不同方向土的性质也可能存在很大差异。而且土的性质容易受外界湿度、温度、地下水和荷载等条件变化的影响。因此,土的性质随空间和时间而变,具有不均匀性和易变性的特点。

1.2.2 土力学的研究内容

《土力学》课程的核心内容是研究和解决土的三大工程问题:一是强度问题(或稳定问题),即研究土的抗剪强度规律、抗剪强度指标的测试和选用、摩尔—库伦强度准则等;二是变形问题,即研究土的压缩特性、反映土压缩性的指标及测试、在外荷载作用下土产生压缩变形量以及变形过程的计算等;三是渗透问题,即研究水在土中的流动规律、水流动时对土中应力的影响以及对土体稳定性的破坏。在解决以上三大工程问题之前,应首先了解土的基本的物理性质,即研究土的颗粒组成、土的干湿状态、土的密实程度以及土的结构对土性质的影响,掌握土中应力的分布规律,即计算在土自重及外部荷载作用下土中应力的分布大小、分布规律。土力学的基本理论在工程中的具体应用有挡土墙土压力的计算、边坡稳定性分析以及地基承载力的确定等。

1.3 土力学的发展概况

《土力学》是一门古老的工程技术,又是一门年轻的应用力学学科。早在几千年以前,人类就已经利用土进行建设。西安半坡村新石器时代遗址,发现土台和石础,就是古代的地基基础。公元前3世纪后期修建的万里长城,后来修建的南北大运河、黄河大堤以及无数宏伟的宫殿、寺院、宝塔等都有坚固的地基和基础,经历了几百年或几千年的风雨沧桑和若干次地震的考验,留存至今。隋朝修建的赵州安济石拱桥,由一孔石拱横跨交河,净跨37.02m,主拱肩部设置4个小拱,节省材料,又减轻了桥身自重,且造型美观。拱桥采用纵向并列砌筑法,28道拱圈自成一体,桥宽达8.4m,桥上可以行车,桥台坐落在粉土天然地基上,基底压力约500~600kPa,经历1300多年,沉降与位移甚微,至今安然无恙。989年建造开封开宝寺木塔时,预计塔基土质不均匀会引起不均匀沉降,施工时特意做成倾斜,待沉降稳定后,塔身正好垂直。另外,四川各地古代至今采用的泥浆扩壁钻探法打盐井,西北地区在黄土中建窑洞,以及在建筑中用料石基垫、灰土地基等,都说明我国人类在长期生产生活实践中,积累了有关土力学的极其宝贵的知识和经验。

18世纪欧洲产业革命,极大地推动了土力学的发展。1773年法国工程师库仑根据试验,创立了著名的土抗剪强度公式和土压力理论;1857年英国朗肯通过不同假定,提出另一种土压力理论;1885年法国布辛尼斯克推导求得半无限弹性体在垂直集中力作用下应力和变形的理论解答;1922年瑞典科学家费伦纽斯为解决铁路塌方,研究出土坡稳定分析方法。这些理论和方法,至今仍在广泛应用。1925年美国土力学专家太沙基总结了前人的试验研究成果,撰写了《土力学》专著,使土力学成为一门独立的学科进行研究和发展的。1936年以来,已召开了多届国际土力学与基础工程专门会议,先后提出了大量论文、研究报告和技术资料。很多国家定期出版土工期刊,世界各国也都经常召开类似的专

业会议,不断总结和交流本学科的研究成果。

中华人民共和国诞生 60 多年来,为适应我国国民经济建设的需要,土力学学科也有了迅速的发展。全国各地有关生产、科研和高等院校不断总结经验,开展室内外测试试验和理论研究。自 1958 年全国第一届土力学及基础工程学术会议至今,不少专家学者对土力学理论作出了巨大的贡献。如全国土力学及基础工程学会前理事长、清华大学黄文熙教授,早在 1957 年就研究提出了非均质地基考虑土侧向变形影响的沉降计算方法,并于 20 世纪 60 年代初期成功研制了我国第一台振动三轴仪,提出了砂土液化的理论。

近年来,世界各国高土石坝(坝高大于 200m)、高层建筑、地下工程与核电站等巨型工程的兴建和多次强烈地震的发生,促使土力学更进一步地发展,有关单位积极研究土的本构关系,土的弹塑性性与黏弹性理论及土的动力特性。同时,很多单位分别成功研制各种各样的勘察、试验及地基处理的设备,为土力学理论的研究提供了良好的条件。随着电子计算机在岩土工程分析中的普遍应用和实验测试技术自动化程度的提高,标志着本学科进入一个新时代。可以预料,随着我国建设步伐的加快和世界科学技术的发展,土力学学科必将得到新的更大的发展。

第 1 章 绪 论

土力学是研究土体在荷载作用下的应力、应变、位移、破坏等问题的学科。它是土木工程的重要组成部分,也是土木工程专业的基础课程。土力学的发展与工程实践密切相关,随着工程技术的进步,土力学理论也在不断丰富和完善。目前,土力学在岩土工程、桥梁工程、水利工程等领域得到了广泛的应用。在岩土工程中,土力学用于分析地基的承载能力、边坡的稳定性以及地下结构的变形等问题。在桥梁工程中,土力学用于研究桥墩与地基的相互作用以及桥梁的沉降问题。在水利工程中,土力学用于分析土石坝的稳定性以及渠道的冲刷问题。随着计算机技术的飞速发展,土力学的研究方法也在不断更新,数值模拟、有限元分析等方法已成为土力学研究的重要手段。未来,土力学将继续在工程实践中发挥重要作用,为人类社会的进步做出更大的贡献。

土力学的发展离不开工程实践的推动。在工程实践中,人们通过大量的试验和观测,积累了大量的土力学数据,为土力学理论的研究提供了丰富的素材。同时,工程实践也提出了许多新的问题,促使土力学理论不断向前发展。例如,在高层建筑中,由于荷载的增大,地基的变形问题变得尤为重要,这促使了土力学在沉降计算方面的深入研究。在核电站工程中,由于安全性的要求,对地下结构的稳定性和变形控制提出了更高的要求,这促使了土力学在地下工程领域的广泛应用。此外,随着环境保护意识的增强,土力学在生态工程、环境工程等领域的应用也越来越广泛。未来,土力学将继续与工程实践紧密结合,为解决工程中的实际问题提供有力的理论支持。

第2章 土的物理性质及工程分类

【本章导读】 土是岩石经风化、搬运、沉积或堆积后形成的松散颗粒集合体，是由固相、液相、气相组成的三相体系。本章介绍土的形成和物质组成，土的物理性质和存在状态以及土的工程分类。通过本章学习应掌握土的颗粒级配、土的三相指标的定义和计算以及土物理状态的判断方法，熟知黏性土和无黏性土的特点，理解土的压实原理，了解土的形成和工程分类原则。

2.1 土 的 形 成

地壳表面的岩石在自然界中受到长期作用，破碎成形状各异、大小不一、成分不同的矿物颗粒，这些颗粒经过自然力的搬运，在不同的自然环境下沉积或堆积形成松散的颗粒集合体——土。

2.1.1 风化作用

风化作用是指岩石长期暴露在自然环境中，在各种自然力作用下破碎与分解，产生颗粒变小及化学成分改变等现象。风化作用可分物理风化、化学风化以及生物风化3种类型。

1. 物理风化

物理风化是指岩石中发生的只改变颗粒大小与形状，不改变岩石矿物成分的过程。如岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀，温度、湿度的变化等因素使岩石产生裂隙、崩解碎裂成岩块、岩屑的过程。

2. 化学风化

化学风化是指岩石与水、氧气、二氧化碳等物质长时接触，产生水化、氧化和碳化等化学变化，分解为细小颗粒并且矿物成分发生改变的过程。化学风化不但改变了颗粒的大小，而且改变了岩石的矿物成分，使岩石发生了质的变化。

3. 生物风化

生物风化是指动、植物及人类活动对岩石产生的破坏作用。例如，植物根系在生长并且变长、变粗的过程中，使岩石破碎；人类的开矿爆破活动，对周围岩石产生的破坏；植物根分泌的某些有机酸、动、植物死亡后遗体腐烂产物以及微生物作用等，可使岩石成分变化而遭到腐蚀破坏。

2.1.2 土的沉积

土从其堆积或沉积的条件来看可以分为两大类：一类叫残积土，另一类叫运积土。

1. 残积土

残积土是指岩石经风化后未经自然力搬运而残留在原地的岩石碎屑组成的土，如图 2-1 (a) 所示。主要分布在岩石出露的地表，经受强烈风化作用的山区、丘陵地带与剥蚀平原。由于残积土未经搬运的磨损和分选作用，故颗粒表面粗糙、多棱角、孔隙大、无层理构造以及均匀性差。残积土作为建筑物地基时易引起不均匀沉降。

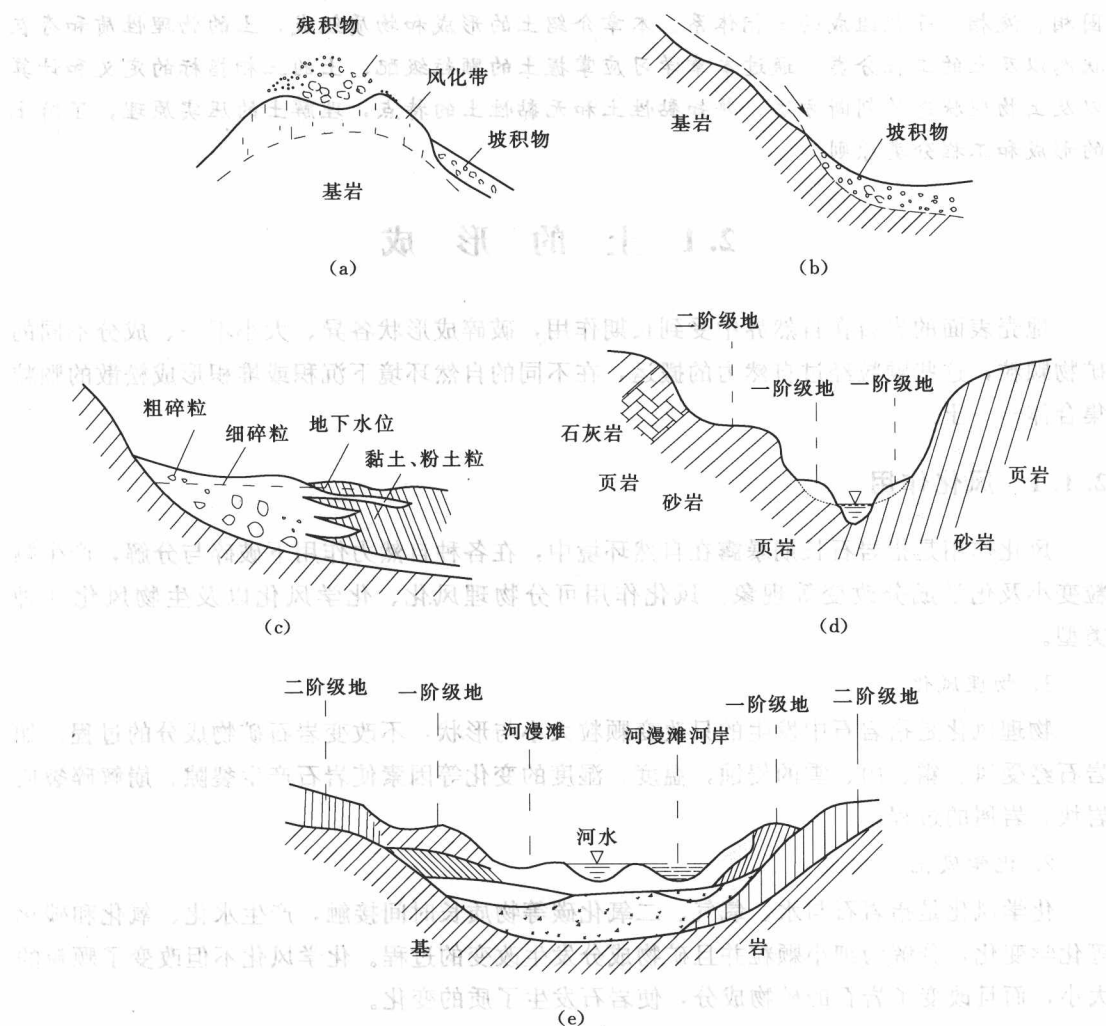


图 2-1 几种沉积土示意图

(a) 残积土；(b) 坡积土；(c) 洪积土；(d) 山区河谷冲积土横断面；(e) 平原河谷冲积土横断面

2. 运积土

运积土是指岩石风化后的产物经重力、风力、水力以及人类活动等动力搬运离开生成

地点后再沉积下来的堆积物。根据搬运的动力不同分为不同的类型。

(1) 坡积土。坡积土是指高处岩石的风化产物受到雨水、雪水的冲刷或重力的作用, 顺着斜坡逐渐向下移动, 最终沉积在较平缓山坡上的沉积物, 如图 2-1 (b) 所示。坡积土厚度变化很大, 有时上部厚度不足 1m, 而下部可达几十米。由于坡积土形成于山坡, 矿物成分与下卧基岩没有直接的关系, 但由上而下具有一定的分选性, 土颗粒从坡顶向坡脚由粗逐渐变细, 厚度由薄变厚。土质不均匀, 还常易发生沿基岩倾斜面的滑动, 尤其是新近堆积的坡积土土质疏松、压缩性较高, 在工程建设中要引起重视, 如作为建筑物地基应注意不均匀沉降。

(2) 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。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, 同一地区颗粒较均匀。

(3) 洪积土。由暴雨或大量融雪形成的山洪激流, 携带大量泥沙、砾石、杂物等在山区运行, 洪流冲出山口后在山麓地带迅速扩展并继续向前延伸形成的沉积物, 洪积土的地貌靠谷口处窄而陡, 谷口外逐渐变为宽而缓, 在平面上呈扇形, 也称洪积扇, 如图 2-1 (c) 所示。如与相邻山沟出口处的洪积扇相互连接就成为洪积平原。洪积土在谷口附近多为颗粒粗大的块石、碎石、砾石和粗砂, 离谷口越远颗粒越细。洪积土是由水力搬运形成的, 有颗粒的分选作用, 形成不规则的层理, 其中常有夹层、尖灭体和透镜体。

(4) 冲积土。冲积土是河流流水的作用将两岸基岩及其上部覆盖的坡积、洪积物质剥蚀后搬运, 沉积在河流平缓地带形成的沉积物。呈现明显的层理构造, 由于搬运距离大, 磨圆度和分选性较好。搬运距离越长, 沉积物的颗粒就越细。分山区河谷冲积土和平原河谷冲积土两种类型。

1) 山区河谷冲积土。山区河谷的河流落差大, 流速快, 故沉积物颗粒较粗, 以卵石、砾石为主, 如图 2-1 (d) 所示。所以, 透水性好、压缩性小, 是良好的建筑地基。

2) 平原河谷冲积土。平原河谷冲积土比较复杂, 如图 2-1 (e) 所示, 有下面几种类型: ①河床沉积土。河流从上游山区河谷流入平川, 流速大减, 河流所携带的物质沉积下来形成冲积土。河床冲积土大多为中密砂砾, 承载力高且压缩性低, 是良好的天然地基。②河漫滩沉积土。具有两层地质构造, 上层为河流泛滥的沉积物, 颗粒较细局部夹有淤泥、泥炭和有机土, 承载力低, 压缩性大; 下层为砂砾、卵石等粗粒土, 地基承载力高, 但开挖时可能发生流砂现象。③河流阶地沉积土。是由河床沉积土和河漫滩沉积土上升演变而成。由河漫滩向上依次为一级阶地、二级阶地、三级阶地等, 形成时间长, 又受干燥作用, 所以结构强度较高, 是良好的地基。阶地的位置越高, 形成年代越早, 土层越密实, 强度越高。④古河道沉积土。蛇曲的河流, 截弯取值改道后的牛轭湖, 逐渐淤塞而成。通常存在较厚的淤泥、泥炭土, 压缩性高, 强度低, 是不良地基。⑤三角洲冲积土。河流在入湖或入海口, 所搬运的大量的泥沙由于流速减慢而沉积下来形成。颗粒细, 孔隙大, 含水率高, 承载力低。

(5) 海相沉积土。海洋按海水深度可分为滨海区、浅海区、陆坡区和深海区。各分区相应的沉积土特征不同: 滨海区指海水高潮时淹没、低潮时出露的地区。滨海沉积土主要由卵石、圆砾和砂土组成, 强度高, 透水性大。有时存在黏性土夹层, 海水含盐量大, 形

成的黏性土膨胀性大；浅海区指海水深度在0~200m、宽度在100~200km的地区。浅海沉积土主要由细砂、黏性土、淤泥和生物沉积物组成。离海岸越远，颗粒越细。这种沉积土一般具有层理构造，密度小，含水率高，压缩性高，强度低，工程性质不好；陆坡区指浅海区与深海区的过渡地带，水深在200~1000km。该地区的沉积土主要为有机质软泥；深海区指水深大于1000km的地区。该地区的沉积土与陆坡沉积土成分接近，主要为有机质软泥。

(6) 湖相沉积土。湖相沉积土分为湖滨沉积土和湖心沉积土。湖滨沉积土主要由湖浪冲蚀湖岸，破坏岸壁形成的碎屑沉积而成，以粗颗粒土为主。湖心沉积土是由细小颗粒悬浮到达湖心后沉积而形成的，主要是黏土和淤泥，具有高压缩性和低强度。

(7) 沼泽沉积土。主要由泥炭组成，含水率极高，透水性小，压缩性大，强度低，不宜作为建筑物地基。

(8) 冰川沉积土。在我国的青藏高原、云贵高原、天山、昆仑山以及祁连山等高原、高山地区，分布着面积巨大的冰川。这些冰川缓慢向下滑动，其中挟带着残积土、坡积土等。冰川下滑到一定高度，气候变换，冰川融化后留下的堆积物称为冰川沉积土。冰川沉积土的颗粒粗细变化较大，土质不均匀。

2.2 土的三相组成

土一般情况下由固体颗粒、水和气三部分组成，固体颗粒构成土的骨架，骨架之间存在着大量孔隙，孔隙中充满着水和气，称为土的三相组成。三相物质间的比例关系直接影响着土的工程性质。在特殊情况下由两相组成，没有气体时是饱和土，没有液体时是干土。

2.2.1 土的固体颗粒

固体颗粒是土的骨架，是三相组成中的主体，是决定土的工程性质的主要成分。土颗粒的大小、形状、矿物成分和级配是决定土的性质的重要因素。

1. 土的矿物成分

土的固体颗粒包括无机矿物颗粒和有机质，它们是构成土的骨架最基本的物质。土的无机矿物成分可分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是岩石经物理风化生成的颗粒，其矿物成分与母岩相同，常见的有石英、长石和云母等。颗粒粗大，比表面积（单位体积内颗粒的总面积）小，与水的作用能力弱，是构成粗粒土的主要成分。由原生矿物构成的土，密度大，强度高，透水性大，压缩性小，工程性质稳定。

次生矿物是岩石中矿物经化学风化作用后形成的新矿物，性质与母岩完全不同，如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅及各种黏土矿物。颗粒细小，比表面积大，吸附水的能力强，能发生一系列复杂的物理、化学变化，性质不稳定，具塑性。

黏土矿物是次生矿物中最主要的一种，是构成黏性土的主要成分，根据微观结构的不同，黏土矿物分蒙脱石、伊利石和高岭石三类。蒙脱石晶体结构不稳定，水易渗入使晶体

劈开，亲水性最强，具有强烈的吸水膨胀、失水收缩的特性；高岭石晶体结构稳定，亲水性最弱，膨胀性和收缩性最小；伊利石的亲水性介于二者之间，接近蒙脱石。

有机质是由土层中的动、植物残骸分解而成的，虽然含量少但对土的影响大，亲水性很强。土中如含有较多有机质，则吸水性强，透水性小，固结速度慢，高压缩性，低强度。故土中有机质含量多时，对土的物理力学性质将起不利影响，因此在工程中，对土的有机质含量提出一定的限制。

2. 土粒粒组

天然土体土粒大小悬殊很大，大的大于 200mm，小的小于 0.005mm，土粒的大小称为粒度。粒度不同，土的性质也就不同。例如，粗颗粒土透水性大，无黏性；颗粒细小的黏粒透水性小，具有黏性。为了研究方便，把大小、性质相近的土粒合并为一组，称为粒组。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。粒组的划分方法目前各个国家、甚至一个国家的各个部门都有不同的规定，表 2-1 是《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007) 规定的划分方法。先将土粒粒组分为 3 类：巨粒、粗粒和细粒；再细分为 6 个粒组：漂石（块石）、卵石（碎石）、砾粒、砂粒、粉粒和黏粒。

表 2-1 粒组的划分 (GB/T 50145—2007)

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		60~200	
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	20~60	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	5~20	
		细	2~5	
	砂粒	粗	0.5~2	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	0.25~0.5	
		细	0.25~0.75	
细粒	粉粒		0.005~0.075	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
	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. 土的颗粒级配

天然土很少是单一粒组的土，往往由多个粒组混合而成。土的性质不仅与土颗粒的大小有关，而且还取决于不同粒组的相对含量。因此，要说明土的组成情况，不仅要说明土颗粒的大小，而且要说明各种大小的土颗粒所占的比例。工程上常用土中各粒组的相对含量占总质量的百分数来表示土的组成情况，称为土的颗粒级配。

土的颗粒级配是通过土的颗粒分析试验测定的。

对粒径在 0.075~60mm 的土粒，采用筛分法测定。筛分法是用一套不同孔径的标准筛，标准筛孔径由大到小分别为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm、1mm、

0.5mm、0.25mm 和 0.075mm 组成。将风干、分散的代表性土样，倒入一套从上到下、孔径由粗到细排列的标准筛内摇振，然后分别称出留在各筛上的土重，即可求出小于或大于某粒径的土质量占总质量的百分数。

对粒径小于 0.075mm 的土粒不能用筛分法，应根据土粒在水中匀速下沉时的速度与粒径关系的斯托克斯（Stokes）定律，用密度计法或移液管法测定颗粒级配，详细试验过程参见《土工试验方法标准》（GB/T 50123—1999）。

根据颗粒分析试验结果，可以绘制颗粒级配曲线，如图 2-2 所示。曲线的纵坐标表示小于某粒径的土粒含量的百分数，横坐标表示粒径的常用对数值，因为土粒粒径通常相差成千上万倍，所以用对数坐标表示比较方便。

根据颗粒级配曲线的形状，可以判断土颗粒的均匀程度。如曲线平缓，表示粒径大小相差悬殊，颗粒不均匀，级配良好（如图 2-2 所示曲线 B）；如曲线陡峭，则颗粒均匀，级配不良（如图 2-2 所示曲线 A、C）。

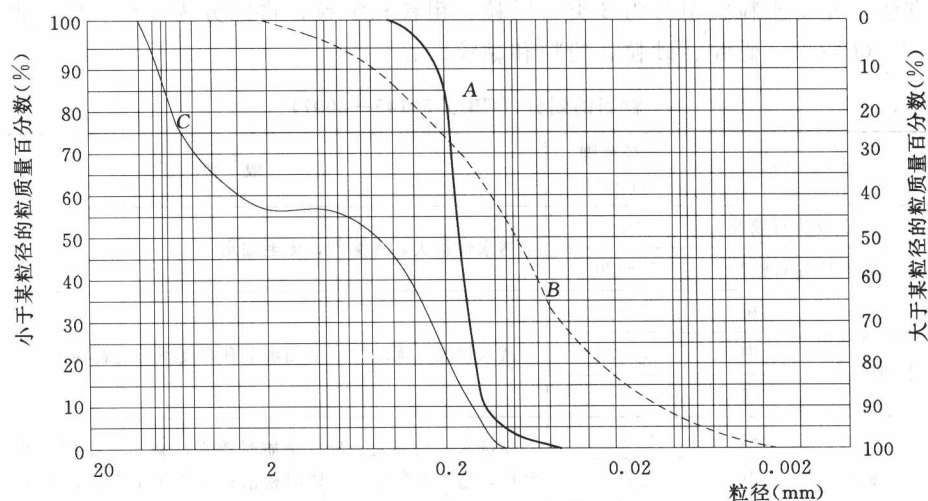


图 2-2 土的颗粒级配曲线

为了定量说明土的级配情况，工程中常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 来反映土颗粒级配的不均匀程度。计算公式分别为：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2-1)$$

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

式中 d_{60} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 60% 的粒径，称控制粒径；

d_{10} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 10% 的粒径，称有效粒径；

d_{30} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 30% 的粒径。

不均匀系数 C_u 反映不同粒组的分布情况， C_u 越大，表示土越不均匀，颗粒大小相差越悬殊。曲率系数 C_c 描述了级配曲线分布的整体形态，反映了曲线的斜率是否连续，表示是否有某粒组缺失的情况。