

普通高校土木工程专业系列精品规划教材
PUTONGGAOXIAOTUMUGONGCHENGZHUANYEXILIEJINGPINGINGUIHUAJIAOCAI



土力学

TULIXUE
TULIXUE

◎ 主 编 徐长节 郑明新 杨仲轩



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

土力学

主 编 徐长节 郑明新 杨仲轩

副主编 赵小平 赵秀绍 雷金波



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

土力学/徐长节,郑明新,杨仲轩主编. —长沙:中南大学出版社,
2015.6

ISBN 978 - 7 - 5487 - 1555 - 9

I. 土... II. ①徐... ②郑... ③杨... III. 土力学
IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 131760 号

土力学

主编 徐长节 郑明新 杨仲轩

☐责任编辑 刘 辉

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 17 ☐字数 389 千字

☐版 次 2015 年 7 月第 1 版 ☐印次 2015 年 7 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 1555 - 9

☐定 价 36.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

普通高校土木工程专业系列精品规划教材

编审委员会

主 任 余志武

常务副主任 雷晓燕

副主任(按姓氏笔画排序)

王卫东	王有凯	龙志林	刘哲锋	祁 皓	杨 斌
吴国雄	陈振富	陈 淮	胡习兵	祝明桥	徐长节
崔 杰	彭立敏				

委 员(按姓氏笔画排序)

刁心宏	于向东	马飞虎	王 英	王星华	王晓光
王 薇	方 焘	甘元初	白明洲	朱 勇	乔建东
刘小明	刘 坚	刘根强	刘 靖	宇德明	孙 晓
孙翠羽	杨伟军	杨仲轩	杨建军	杨春霞	李长春
李东平	李任平	肖 潇	张 健	张维锦	张鹏飞
张燕茹	陈友兰	陈长坤	陈汉利	陈锐林	罗小勇
周小林	周书葵	周凌宇	周智辉	周德泉	郑明新
赵小平	赵国宇	胡文韬	胡晓波	耿大新	徐林荣
郭文华	黄海林	蒋丽忠	傅 纯	戴公连	

前 言

土力学是土木工程、水利工程、交通工程等专业的一个重要基础课。随着国内外高层建筑、跨江海大桥、重要港口码头、大坝、高速公路、高速铁路等大量兴建，地基基础的安全性越来越引起工程界和学术界的关注。据统计，由于地下工程的隐蔽性和不确定性，全世界各地发生的工程建设事故中因地基原因导致的占大多数。因此，土力学是相关专业工程技术人员和学生必须掌握的专业基础课程。

1925年太沙基(Karl Terzaghi)出版《土力学》，标志着土力学开始成为一门独立的学科问世，其后诸多学者如Casagrande、Peck、Taylor、Skempton、Roscoe等对土力学的发展做出了巨大的贡献，土力学在工程实践中逐渐丰富和成熟。我们期望编写一本简明扼要、深入浅出的土力学本科生教材，力求使相关专业大学生掌握其基本概念、基本原理，培养和激发他们学习土力学的兴趣，学会在工程实践中运用相关的知识。我们在教材编写中不仅注意了理论的系统性，还注重理论联系实际，编入较多的计算例题和工程实例，各章都附有重点内容和思考练习题。本教材紧密联系行业技术最新发展，相关技术标准采用《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)、公路桥涵地基与基础设计规范(JTG D63-2007)与铁路桥涵地基与基础设计规范(TB 10002.5-2005)等新规范。

本书由华东交通大学/浙江大学徐长节教授、华东交通大学郑明新教授、浙江大学杨仲轩教授主编，华东交通大学赵小平副教授、赵秀绍副教授担任副主编，华东交通大学艾瑶副教授(第2章)、南昌航空大学雷金波副教授(第6章)参与了教材的编写。书中引用了许多国内外学者的文献和资料，在此不能一一列出，谨表深深的歉意和衷心的感谢。在编写过程中得到了中南大学出版社编辑同志的大力支持，在此表示衷心的感谢！

限于时间和水平，书中难免出现错误和不当之处，欢迎读者批评指正。

编者

2015年6月

总 序

土木工程是促进我国国民经济发展的重要支柱产业。近 30 年来,我国公路、铁路、城市轨道交通等基础设施以及城市建筑进入了高速发展阶段,以高速、重载和超高层为特征的建设工程的安全性、经济性和耐久性等高标准要求向传统的土木工程设计、施工技术提出了严峻挑战。面对新挑战,国内、外土木工程行业的设计、施工、养护技术人员和科研工作者在工程实践和科学研究工作中,不断提出创新理念,积极开展基础理论和技术创新,研发了大量的新技术、新材料和新设备,形成了成套设计、施工和养护的新规范和技术手册,并在工程实践中大范围应用。

土木工程行业日新月异的发展,对现代土木工程专业技术人才培养提出了迫切需求。教材建设和教学内容是人才培养的重要环节。为面向普通高校本科生全面、系统和深入阐述公路、铁路、城市轨道交通以及建筑结构等土木工程领域的基础理论和工程技术成果,由中南大学出版社、中南大学土木工程学院组织国内土木工程领域一批专家学者组成“普通高校土木工程专业系列精品规划教材”编审委员会,共同编写这套系列教材。通过多次研讨,确定了这套土木工程专业系列教材的编写原则:

1. 系统性

本系列教材以《土木工程指导性专业规范》为指导,教材内容满足城乡建设、公路、铁路以及城市轨道交通等领域的建筑工程、桥梁工程、道路工程、铁道工程、隧道与地下工程和土木工程管理等方面的需求。

2. 先进性

本系列教材与 21 世纪土木工程专业人才培养模式的研究成果密切结合,既突出土木工程专业理论知识的传承,又尽可能全面反映土木工程领域的新理论、新技术和新方法,注重各门内容的充实与更新。

3. 实用性

本系列教材针对 90 后学生的知识与素质特点,以应用性人才培养为目标,注重理论知识与案例分析相结合,传统教学方式与基于现代信息技术的教学手段相结合,重点培养学生的工程实践能力,提高学生的创新素质。这套教材不仅是面向普通高校土木工程专业本科生的课程教材,还可作为其他层次学历教育和短期培训的教材和广大土木工程

技术人员的专业参考书。

4. 严谨性

本系列教材的编写出版要求严格按国家相关规范和标准执行，认真把好编写人员遴选关、教材大纲评审关、教材内容主审关和教材编辑出版关，尽最大努力提高教材编写质量，力求出精品教材。

根据本套系列教材的编写原则，我们邀请了一批长期从事土木工程专业教学的一线教师负责本系列教材的编写工作。但是，由于我们的水平和经验有限，这套教材的编写肯定有不尽人意的地方，敬请读者朋友们不吝赐教。编委会将根据读者意见、土木工程发展趋势和教学手段的提升，对教材进行认真修订，以期保持这套教材的时代性和实用性。

最后，衷心感谢全套教材的参编同仁，由于他们的辛勤劳动，编撰工作才能顺利完成。真诚感谢中南大学学校领导、中南大学出版社领导的大力支持和编辑们的辛勤工作，本套教材才能够如期与读者见面。



2014 年 7 月

目 录

绪 论	(1)
第 1 章 土的物理性质及其工程分类	(7)
第一节 土的形成	(7)
第二节 土的三相组成	(11)
第三节 粘土颗粒与水的相互作用	(18)
第四节 土的结构和构造	(21)
第五节 土的物理性质	(23)
第六节 土的密实程度、压实特性与工程应用	(35)
第七节 粘性土的物理特性	(45)
第九节 粘性土的胀缩性	(50)
第十节 土的工程性质分类	(53)
第 2 章 土的渗透性及有效应力原理	(64)
第一节 土的渗透定律	(64)
第二节 渗透系数的测定	(68)
第三节 土的渗透破坏	(72)
第四节 二维稳定渗流问题	(77)
第五节 有效应力原理	(81)
第六节 孔隙压力系数	(85)
第 3 章 土中应力计算	(90)
第一节 概 述	(90)
第二节 土中自重应力计算	(92)
第三节 基底压力计算	(95)
第四节 地基的附加应力计算	(99)
第 4 章 土的变形性质及地基沉降计算	(118)
第一节 概 述	(118)
第二节 土的压缩试验及压缩指标	(119)
第三节 土的前期固结压力与天然土层的应力历史	(125)
第四节 试验方法测定土的变形模量	(128)

第五节	地基最终沉降量计算	(132)
第六节	饱和粘土的渗透固结和太沙基一维固结理论	(141)
第七节	地基变形特征	(151)
第5章	土的抗剪强度	(158)
第一节	概 述	(158)
第二节	摩尔-库仑强度理论	(159)
第三节	土的极限平衡条件	(160)
第四节	抗剪强度的确定方法	(163)
第五节	粘性土的抗剪强度	(170)
第六节	砂土的抗剪强度	(176)
第七节	应力路径及其影响	(182)
第6章	天然地基承载力	(187)
第一节	概 述	(187)
第二节	地基临塑荷载和临界荷载	(190)
第三节	地基极限承载力	(192)
第四节	规范法确定地基承载力	(201)
第五节	原位试验法确定地基承载力	(206)
第7章	土压力计算	(217)
第一节	土压力概述	(217)
第二节	静止土压力	(219)
第三节	朗肯土压力理论	(222)
第四节	库伦土压力理论	(227)
第五节	几种特殊情况下的土压力计算	(233)
第六节	朗肯理论和库伦理论的比较	(238)
第8章	土坡稳定分析	(240)
第一节	概 述	(240)
第二节	无粘性土坡稳定分析	(242)
第三节	粘性土坡稳定分析圆弧法	(244)
第四节	毕肖普条分法	(249)
第五节	泰勒分析法	(252)
第六节	折线型滑面稳定性分析	(255)
第七节	土坡稳定分析的几个问题讨论	(257)
参考文献		(261)

绪 论

一、土力学及其研究意义

土力学(soil mechanics)是研究土(或土体)的学科,即利用力学的一般原理研究土的物理、力学特性及其受力后强度和体积变化规律的学科,包括土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性,它是力学的一个分支。需要用专门的土工试验技术研究其物理、力学性质以及受力后强度及体积的变化规律。随着现代生产发展的需要,土力学的研究领域正在不断扩大,现已形成许多分支,如软土力学、海洋土力学、非饱和土力学、冻土力学、环境岩土力学、土动力学、土塑性力学等。由于土体一般不能承受拉力,故土力学中一般规定应力受压为正。

土力学研究对象是土,指由地壳表层岩石经受强烈风化(包括物理风化、化学风化和生物风化作用)、搬运、沉积等地质作用形成的第四纪松散沉积物;各种地质作用使岩石破碎、矿物成分发生变化并产生有机质,是各种矿物颗粒组成的集合体,一般为固体颗粒、水和气体组成的孔隙松散介质体,为三相体系。可以讲,土是经过风化、搬运和沉积的过程产生的,经历了很长的地质历史年代,每一过程都对土的性质产生影响。因此,土是自然地质历史的产物,土的性质与成因有关。

地基(subsoil)指承受建筑物荷载的地层或土体。按地层岩性可分为土基和岩基;按设计施工可分为天然地基和人工地基。

土可以作为建筑物的地基和建筑材料,以及护层(或介质)。土木工程建筑和构筑物或修建在地表,或埋置于岩土之中,即土作为建筑物的地基在工程建设中可用来支承建筑物传来的荷载,如在土层上修建房屋、桥梁等;土也可作为建筑物材料,如在路堤和堤坝修筑过程中填筑土体作为建筑材料使用。此外,如隧道、涵洞及地下建筑等,土是作为建筑物周围的介质或环境。可见土与建筑物和构筑物有密切联系。

由于土是一种松散介质,具有压缩性大、强度低、渗透性强等特性,弄清土的物理、力学性质直接关系到建筑工程的安全使用与经济合理性。实践证明,许多建筑物和构筑物事故均与土有关,并且事故一旦发生补救非常困难。

苏州虎丘塔,建于五代周显德六年至北宋建隆二年(公元959—961)期间,7级八角形砖塔,塔底直径13.66 m,高47.5 m,重63000 kN。其下地基土层由上至下依次为杂填土、块石填土、亚粘土夹块石、风化岩石、基岩等,由于地基土压缩层厚度不均(覆盖土层一侧3.8 m,另一侧5.8 m)以及砖砌体偏心受压等原因,造成该塔向NE方向倾斜。

1956—1957 年间对上部结构进行修缮,但使塔重增加了 2000 kN,加速了塔体的不均匀沉降。1957 年,塔顶位移为 1.7 m,到 1978 年发展到 2.31 m,重心偏离基础轴线 0.924 m,砌体多处出现纵向裂缝,部分砖墩应力已接近极限状态。20 世纪 80 年代初采用桩排式地下墙及注浆法进行了托换处理,倾斜变形得到有效控制,现已基本稳定。

意大利比萨斜塔自 1173 年 9 月 8 日动工,至 1178 年建至第 4 层中部,高度 29 m 时,因塔明显倾斜而停工。1272 年复工,经 6 年时间建完第 7 层,高 48 m,再次停工中断 82 年。1360 年再次复工,至 1370 年竣工,前后历经近 200 年。该塔共 8 层,高 55 m,全塔总荷重 145 MN,相应的地基平均压力约为 50 kPa。地基持力层为粉砂,下面为粉土和粘土层。由于地基的不均匀下沉,塔向南倾斜,南北两端沉降差 1.8 m,塔顶离中心线已达 5.27 m,倾斜 5.5° ,成为危险建筑。由于倾斜程度过于危险,比萨斜塔曾在 1990 年 1 月 7 日停止向游客开放,经过 12 年的修缮,耗资约 2500 万美元,斜塔被扶正 44 cm,基本达到了预期的效果。专家认为,只要不出现不可抗拒的自然因素,经过修复的比萨斜塔,300 年内将不会倒塌。2001 年 12 月 15 日起再次向游人开放。

我国 1954 年兴建的上海工业展览馆中央大厅,因地基约有 14 m 厚的淤泥质软粘土,尽管采用了 7.27 m 的箱形基础,建成后当年就下沉 600 mm。1957 年 6 月展览馆中央大厅四角的沉降最大达 1465.5 mm,最小沉降量为 1228 mm。1979 年 9 月时,展览馆中央大厅平均沉降达 1600 mm,致使地下管道断裂损坏、地表水倒流等。

大量工程事故表明。如果对土力学理论和土层地基知识认识不足,对工程地基处理不当则损失很大。近年来我国道路、地铁、城市建设等基本建设方兴未艾,将会遇到许多新的土力学问题,因此研究与建筑物和构筑物有密切联系的土具有非常重要的意义。



图 0-1 虎丘塔

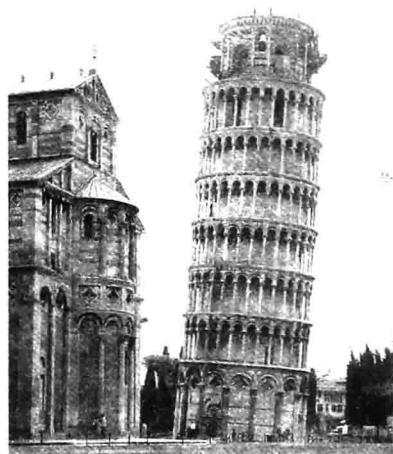


图 0-2 比萨斜塔



图 0-3 上海工业展览馆

二、土力学的发展与展望

土力学是一门既古老又新兴的学科,是人类在长期生产实践中不断发展过程中形成的。纵观国内外,其发展过程大概可分为四个阶段。

1. 经验积累基础上的感性认识阶段

人类自远古以来就广泛利用土作为建筑物地基和建筑材料。“水来土挡”就是我国古代劳动人民用土防御洪水的写照。古代许多宏伟的土木工程,如我国的万里长城、大运河、都江堰、故宫殿和世界上许多知名的建筑物,如比萨斜塔、金字塔等的修建。特别值得一提的是我国隋代李春设计的赵州石拱桥(595—605 年建成),设计者充分利用密实粗砂层的高承载力把桥台砌筑在其上(基底压力达到 500 ~ 600 kPa),至今沉降量很小,历经 1400 余年至今仍在使用。



图 0-4 赵州桥

这些均体现了古代劳动人民丰富的土木工程经验。但由于社会生产力和技术条件的限制,使这一阶段经历了很长时间,直到 18 世纪中叶,还停留在经验积累的感性认识阶段。

2. 经验积累基础上理论提高阶段

18 世纪欧美国家在产业革命后,大型建筑、桥梁、铁路、公路等建筑物的大量兴建,提出了许多与土力学有关的问题,尤其是许多工程事故的经验教训,促使人们对土的物理力学性质等一系列技术问题开展研究,迫使人们在经验的基础上寻求理论解释和新的解决途径。这一时期的主要成就有:法国科学家库仑(C. A. Coulomb, 1773 年)发表了土压力滑动楔体理论及土的抗剪强度公式;法国学者达西(H. Darcy, 1856 年)研究砂土的透水性,创立了层流渗透定律(达西公式);英国学者朗肯(W. J. M. Rankine, 1857 年)发表了土压力弹性平衡理论,与库仑土压力理论共同形成了古典土压力理论;法国学者布辛内斯克(J. Boussinesq, 1885 年)提出了半无限弹性体中应力分布计算公式,成为计算地基中附加应力计算的主要方法。

这一阶段人们在以前实践经验的基础上,从不同角度作了探索,在理论上有了突破,这些古典理论对土力学的发展起了很大的推进作用,一直沿用至今。但大多是局部理论的单独突破,还不能形成一个统一的理论体系,未形成独立的学科。

三、古典土力学的形成与完善阶段

自 20 世纪 20 年代以来,人类工程活动的深度、广度和建筑规模不断增大,遇到的工程地质条件更为复杂,迫使人们对土的研究作出更为全面和系统的研究,加之勘察技术、土工试验条件和设备有了长足进展,现场观测资料的不断积累,进一步推动了土力学的迅速发展,发表了许多有关理论著作。如由瑞典彼得森(K. E. Petterson, 1916 年)提出、由费伦纽斯(W. Fellenius, 1922 年)及美国泰勒(D. W. Taylor)进一步改进的土坡稳定分析的整体圆弧滑动算法。法国普朗特(L. Prandtl, 1920 年)发表了地基滑动面的数学计算公式;特别是 1925 年美籍奥地利人 K·太沙基(K. Terzaghi)发表了《土力学》专著一书,建立了饱和土体有效应力原理,提出了饱和土体一维固结理论,系统地论述了土力学的若干重要问题,出版了《土力学》专著,标志着土力学作为一门独立的学科问世了。之后,许多国家还成立了专业的土力学研究机构,对岩土工程中的一些普遍性事故进行了重点勘察和试验,对土的工程性质、地基基础设计进行了深入的研究,发表了许多理论著作。其中:在边坡稳定性分析的简单圆弧滑动法基础上,毕肖普(A. W. Bishop, 1955 年)提出了考虑分条间竖向力、应用有效强度指标的计算方法;20 世纪 50 年代后期简布(N. Janbu)与摩根斯坦(N. R. Morgenstern)相继提出了不仅考虑条间力,而且滑动面可取任意形状的计算方法。在强度理论与强度试验方法方面发展了库仑-摩尔理论。对土的破坏准则、应力路线,尤其是对抗剪强度的有效应力原理作了深入细致的研究,并用三轴仪作了全面的验证。

对于土的有效应力原理、固结理论。变形理论、土体稳定问题、动力特性、流变理论等在土力学中的应用进一步完善,其中太沙基、泰勒、崔托维奇(Н. А. ЦЫТОВИЧ)、斯开普顿(A. W. Skempton)、贝伦(L. Bjerrum)、毕肖普等人在这方面都做出了有效成绩。我国陈宗基、黄文熙在土力学方面也取得了出色的研究成果。20 世纪 20 年代到 60 年代,以上研究均是假设土为理想弹性体和理想塑性体,是以古典弹、塑性理论为基础的“古典土力学”的发展和完善阶段。

四、现代土力学发展阶段

当今由于高层建筑、高坝建筑及高速公路、高速铁路的大量兴建和地震的破坏作用,尤其是当今计算技术、各种测试技术及有关学科理论的快速发展,将土力学推向了一个全新的发展阶段,即将土作为真正的“土”进行研究。伦杜利克(L. Rendulic, 1936 年)发现了土的剪胀性(一般固体材料不具有),得到土的应力-应变关系是非线性的,而且具有加工硬化或软化的性质。但由于没有现代化计算手段,非线性理论的发展受到了限制。随着电子计算机的出现和新计算技术的高速度发展,使土力学的研究也进入了一个全新阶段,即不必将土作为理想弹塑性体,而是作为非线性应力-应变关系来研究的新阶段,并提出了各种非线性应力-应变模型。从实验手段来说,在 20 世纪 60 年代

以前,加载时量测力用的是标准压力计,仪器由人工操纵,数据眼看手记。而现在试验量测可用传感器,数据由电子仪器自动记录、显示,并可由计算机集中采集处理,得到了大量以往不可能得到的试验数据,为现代土力学的发展奠定了坚实基础。

我国土力学研究源于20世纪40年代,但发展缓慢。解放后随着经济的大力发展,得到了迅速发展,建立了许多专门科研机构,培养了大量的专业技术人才。如中国土木工程学会1957年起便设立了土力学及基础工程委员会,由茅以升教授主持并开展工作,并于1978年成立了土力学及基础工程学会。自1962年在天津召开第一届土力学及基础工程学术会议以来,1999年改名为土力学及岩土工程学术会议。目前已经举办了十多届会议。许多专家学者对土力学的发展作出了较大贡献。其中黄文熙院士在1983年主编了一本理论性较强的土力学专著《土的工程性质》,书中系统地介绍了国内外有关各种土的应力应变本构模型的理论和研究成果。还有,孔德芳教授从地质体出发来研究土的性质,出版《工程岩土学》,较系统地探讨了土的微观结构及其性质。沈珠江院士在土体本构模型、土体静动力数值分析、非饱和土理论等方面取得了令人瞩目的成就,并于2000年出版了《理论土力学》专著,较全面地总结了近70年来国内外学者的研究成果。钱家欢、殷宗泽教授1999年主编出版的《土工原理与计算》,较全面地总结了土力学的最新发展。

学术交流方面,国际上自1936年第一届国际土力学及基础工程学术会议在美国麻州坎布里奇召开以来,以后几乎每四年召开一次,目前改名为土力学及岩土工程学术会议,已经举办了近20届。另外各大洲区域性的土力学学会2~4年召开一次,其他有关土力学的专门会议更多。这些学术会议大大促进了土力学学科的发展。预计21世纪土力学理论与实践在非饱和土力学、环境土力学、土破坏理论等方面将取得长足的发展。目前国际性土工刊物最著名的有美国的《岩土工程技术与环境工程》(Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering)杂志,加拿大的《岩土工程技术》(Canadian Geotechnical Journal)。我国有“岩土工程学报”、“岩石力学与工程学报”、“岩土力学”、“岩土工程技术”、“岩土工程界”、“岩土工程师”等专业性刊物。这些都有助于本学科的交流,促进学术发展。

五、本课程的内容、要求及与专业课的关系

本书是根据土木工程专业中建筑工程、道路与铁道工程及其他交通土建方向的教学要求,并兼顾其他专业方向要求编写的。目前《土力学》教材有各种版本,该书吸收前人研究成果,注意深入浅出,明了易懂,同时注意行业特色,侧重了解土力学的基本概念、基本计算原理和方法,适当考虑了工程应用情况。内容包括土的物理性质及工程分类、土中水的运动规律、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、地基承载力、土坡稳定分析等8章,每1章中均有关于工程应用的内容。总体上全书可分为两大部分:第一部分关于土的基本性质及基本规律的介绍;第二部分是土的应力、变形和强度的分析和土坡稳定性分析计算。

由于土是一种由固态、液态和气态物质组成的三相体系,具有一系列复杂的物理力学性质,容易受到湿度、地下水等环境条件变动的影响,在学习土力学基本理论时,一

定要结合身边的实际工程问题，不能单凭数学和力学的方法，还应通过试验、实习并紧密结合实践经验进行合理的简化假设，才能求得实际问题的妥善解决。可以说，土力学是一门理论性和实践性都很强的课程，在学习本课程时不但要着重于对基本概念和各种计算原理的理解，而且应结合工程地质及生活常识区分土的类型、掌握室内试验方法、了解野外测试技术，通过土的现场勘察及室内土工试验测定土的计算参数。

土力学是土木工程专业的必修课，属于专业基础课，它所包含的知识是土木工程专业学生必须掌握的专业基础知识，又是为“路基工程”、“基础工程”、“地基处理”等后续课程学习所必备的基础知识。学习时必须紧紧抓住土的应力、变形、强度、渗流及稳定这一主线，利用有效应力原理、将土的本构模型即土的应力、变形、强度等关联、贯穿起来，既要重视室内土工试验，又要注重理论联系实际的学习。

第1章

土的物理性质及其工程分类

第一节 土的形成

土是由岩石经过风化、搬运和沉积等一系列作用和变化后形成的，由各种大小不同的土粒、水和气体按不同比例组成的集合体，为固体、液体和气体的三相体系。在自然界中，岩石经过各种风化作用后形成松散矿物颗粒堆积土，经长期地质作用如压密、固结、结晶、成岩作用又形成岩石，之后出露在地表经过风化地质作用不断风化破碎再形成土。这一循环过程，永无止境地重复进行着。

一、土生成年代划分

工程上遇到的大多数土都是在第四纪地质历史时期内所形成的。第四纪地质年代的土又划分为更新世和全新世两类土，其中在人类文化期以来所沉积的土称为新近代沉积土，如表1-1所示。

表1-1 土的生成年代

纪（或系）	世（或统）		年代（距今）
第四纪（Q）	全新世（Q ₄ ）	Q ₄ ³ （晚期）	<0.25 万年
		Q ₄ ² （中期）	0.25 ~ 0.75 万年
		Q ₄ ¹ （早期）	0.75 ~ 1.2 万年
	更新世（Q _p ）	晚更新世（Q ₃ ）	1.2 ~ 12.8 万年
		中更新世（Q ₂ ）	12.8 ~ 73 万年
		早更新世（Q ₁ ）	73 ~ 248 万年

二、土的形成分类

第四纪土，由于其搬运和堆积方式的不同，依据其地质作用形成过程和形成的特征可分为残积土、冲积土、坡积土、洪积土和湖泊沼泽沉积土等。

1. 残积土 (residual soil)

残积土是指母岩表层经风化作用破碎成为岩屑或细小颗粒后未经搬运、残留在原地的堆积物(见图 1-1 所示)。其特征是颗粒表面粗糙、多棱角、粗细不均、无明显层理。残积土厚度及其特征随所处地域的岩石不同而不同。

在残积土层上建造建筑物, 如果其厚度较小, 可以把这部分土挖掉, 将建筑物直接建在下伏基岩上。

2. 坡积土 (colluvial soil)

坡积土是指坡面上的风化破碎物质在降雨洗刷作用或重力作用下在坡脚处形成的新的沉积层(见图 1-2 所示)。坡积土虽有一定的搬运距离, 但这一类土多堆积在斜坡或坡脚地带, 其成份与坡上的残积土基本一致。坡积土各种粒径都有, 绝大部分属于粗粒, 形状不规则、有棱角, 堆积比较疏松。坡积物的厚度和粒度分布取决于它们所处斜坡的位置, 一般距离坡脚越远、粒径越粗, 且厚度越小。

在坡积土层上建造建筑物易于发生滑坡或不均匀沉降等问题。

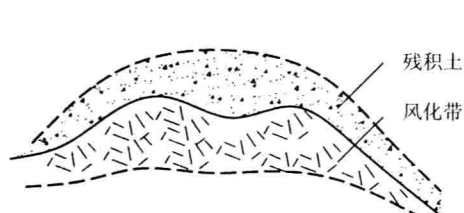


图 1-1 残积土

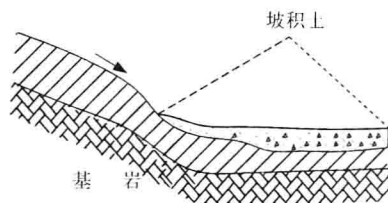


图 1-2 坡积土

3. 洪积土 (diluvial soil)

洪积土是山洪带来的碎屑物质, 在山沟的出口处堆积而成的土(见图 1-3)。洪积土是水流作用的异地沉积土, 一般在山丘和小盆地之间, 形如扇形状。山洪流出沟口后, 由于流速骤减, 被搬运的粗碎屑物质(如块石、砾石、粗砂等)首先大量堆积下来, 离山渐远, 洪积物的颗粒随之变细, 其分布范围也逐渐扩大。由于洪水在时间上的间歇性, 导致洪积土在垂直方向和水平方向上粒度分布变化较大。山洪是周期性产生的, 每次的大小不尽相同, 堆积下来的物质也不一样。因此, 洪积物常呈现不规则交错的层理构造, 如具有夹层, 尖灭或透镜体等产状(见图 1-4)。

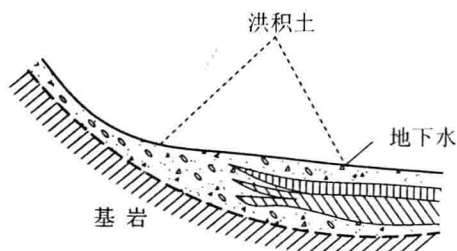


图 1-3 洪积土

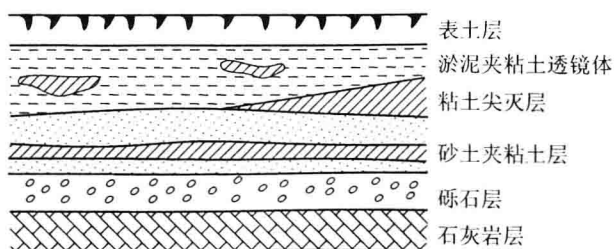


图 1-4 洪积土的层理构造