

土木工程研究生系列教材

---

# 高等土力学

卢廷浩 刘祖德 陈国兴 徐日庆 编著  
王国体 王 媛 傅旭东 杨小礼  
殷宗泽 主审

机械工业出版社

本书是硕士研究生教材，适合于土木、水利水电、交通、环境、地质、市政工程等多专业使用。本书也可作为其他相近专业研究生的选修课教材及相关专业博士研究生的参考书和工程师们的读物。

本书共分 14 章。内容包括：绪论，土的生成与基本性质，土的固结与流变理论，土的抗剪强度理论，土的渗流理论，土的本构关系，岩土极限分析法，地基应力和沉降实用计算，土坡稳定分析，地基极限承载力计算，土的动力特性，填土的工程性质，土工问题的可靠度分析。本书有完整的结构体系，较为全面系统地介绍了近代土力学的研究成果、研究方法，涵盖了目前本课程教学的主体内容。本书以各类工程问题为基线，注重理论研究与实际应用并重，叙议结合，以宽广的视角介绍了一些新观点、新方法并进行一些必要的讨论。本书阐述简明，深入浅出，循序渐进，图文并茂，便于“教”和“学”。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

高等土力学 钱廷浩等编著 北京：机械工业出版社，2002

(土木工程研究生系列教材)

ISBN 7-111-02400-0

I ①高... II ①钱... III ①土力学—研究生—教材  
IV ①TU402

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 000000 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：霍永明 责任校对：张莉娟  
封面设计：张 静 责任印制：洪汉军  
北京京丰印刷厂印刷  
2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷  
16 开本 787 毫米×1092 毫米 32 印张·280 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) 68995166  
封面无防伪标均为盗版

# 土木工程研究生系列教材编审委员会

顾 问：(以姓氏笔画为序)

王正宏	任爱珠	朱博鸿	刘怀恒
刘宝琛	刘祖德	沈世钊	沈祖炎
陈英俊	林 皋	欧进萍	周 氏
周锡元	赵国藩	钟善桐	殷宗泽
顾晓鲁	蔡美峰		

主任委员：江见鲸

副主任委员：(以姓氏笔画为序)

朱合华	李 奇	李宏男	李爱群
杜修力	陈云敏	张永兴	张素梅
尚守平	姜忻良	夏 禾	徐志胜
廖红建			

委 员：(以姓氏笔画为序)

卫 军	王 钊	王清湘	卢廷浩
朱召泉	刘晶波	李正良	李英民
李洪泉	李鸿晶	杨果林	吴知丰
陈国兴	张家生	张毅刚	张耀春
郑 刚	单 建	易伟建	周朝阳
赵树德	徐礼华	袁迎曙	康清梁
盛宏玉			

秘 书 长：季顺利

# 土木工程研究生系列教材 序

随着我国高等教育的发展,普通本科教育已由精英式教育发展成为大众式教育。我国科学技术的高速发展,对具有高级专业知识、高级专业技能的专门人才的需求,日益迫切,这为硕士研究生教育的发展提供了广阔空间。一些高等院校,硕士研究生的招生规模,近年来正以 ~~飞快~~~~~迅猛~~ 的速度发展。对一些研究型的重点高校,在“十五”期间,本科生与研究生的招生比例要大致相当。许多高校已获得工程硕士的培养授权,这为研究生培养又开辟了新途径。

硕士研究生招生规模的扩大,对传统的研究生教育模式提出了挑战。过去硕士生的培养基本套用博士生的培养模式,主要靠传帮带式的教育模式,而对数量增大的研究生教育,必须建立整建制的培养模式,即要求硕士研究生的教育培养模式向公共化、规范化方向发展。对此,硕士研究生的教材,特别是研究生教育的平台课、学位课的教材建设就显得特别重要了。

机械工业出版社根据当前土木工程研究生教育发展现状,本着“大土木工程”的教育思想,组织国内部分高校土木工程专业的教授,对土木工程研究生用教材建设进行了研讨,并组织编写了土木工程研究生系列教材。为保证教材的编写质量,组织成立了教材编审委员会,聘请了一批学术造诣深、德高望重的专家作顾问和教材主审。本套系列教材编写、出版的思路是:先基础课、平台课教材,后专业课教材。教材组织由长期给研究生授课的老师合作编写,达到“学校优势互补,质量上乘”的目标。教材体系设计,本着“重基本理论、重学科发展,结合学生现状和人才培养要求”的原则。教材编写质量,本着“出精品、主编负责、主审把关”的原则,符合国务院学位委员会设定的专业要求。

本套系列教材将于 ~~四五年~~ 陆续出版。我们相信,本套系列教材的出版将对我国土木工程研究生教育的发展和教学质量的提高及人才培养,产生积极作用,为我国经济建设和社会发展作出贡献。

# 前 言

高等土力学课程是土木、水利水电、交通、环境、地质等专业硕士研究生的重要专业基础课，是岩土工程专业硕士研究生的骨干学位课程。高等土力学学习以本科阶段土力学知识为起点，但高等土力学将更全面地以更宽广的视角、更深层次、应用多学科交叉的理论和方法对土的性质进行研究，解决更复杂的工程问题，因而从某种意义上讲也是发展中的土力学。许多学校都为研究生开设高等土力学课程，但一直缺乏较为通用的基本教材，一般是以某些专著为基础选择某些篇目、章节讲授或自编讲义进行教学。近年也有一些相应教材出版，但由于各个学校的专业特点不同，迫切需要一本可适合不同专业使用的教材，为此，本着大土木工程的教育思想我们编写了这本《高等土力学》教材。本书的特点是：涵盖了目前本课程教学的主要内容；符合循序渐进的认知思路，有完整的结构体系；注重理论介绍与实际应用并重，叙议结合，进行一些必要的讨论；在讲解基本内容的同时，也介绍一些新观点、新方法，给学生留下思考的空间，启发学生创新思维。本书除了作为在读研究生的教材外，也可作为其他相关专业博士生和工程师的参考书或读物，其他相近专业也可将其作为选修课教材使用。

本书内容安排及编写者如下：河海大学卢廷浩编写第 1 章、第 2 章；浙江大学徐日庆编写第 3 章、第 4 章；武汉大学刘祖德编写第 5 章；河海大学王媛编写第 6 章；中南大学杨小礼编写第 7 章；合肥工业大学王国体编写第 8 章、第 9 章；南京工业大学陈国兴编写第 10 章、第 11 章；武汉大学刘祖德、傅旭东编写第 12 章；武汉大学傅旭东编写第 13 章。

本书是在多所大学许多教师历时两年半的合作努力和机械工业出版社的大力支持下才得以出版的。本书由卢廷浩教授负责统校，殷宗泽教授担任主审。限于编者水平和时间仓促，讹误之处敬请读者指正。

编 者

# 主要术语符号表

粤: 面积, 范德华常数, 硬化模量	隕, 隕, 隕: 第一、第二、第三应力状态不 变量
粤: 与偏应力相应的土样破坏时的 孔隙应力系数	隕, 隕, 隕: 第一、第二、第三应变状态不 变量
葬: 用作下标时表示空气或气体, 系数	允: 水力坡降 (水力梯度、渗透比降)
葬: 压缩系数	兪, 兪, 兪: 第一、第二、第三偏应力不变 量
月: 各项等压相应的孔隙应力系数, 边长	兪, 兪, 兪: 第一、第二、第三偏应变不变 量
月: 切线体积模量	运: 刚度系数, 劲度系数, 体积模量
悦: 次固结 (压缩) 系数	运: 静止侧压力系数
悦: 压缩指数, 曲率系数	运: 压实度
悦: 回弹再压缩指数	运: 接触面法向劲度系数
悦: 不均匀系数	运: 接触面剪切劲度系数
悦, 悦: 土体竖向、水平方向固结系数	运: 非线性切线体积模量
槽 土的粘聚力 (一般表达)	噪 渗流系数
槽, $\varphi_{槽}$ : 三轴 试验强度参数 (指标)	蕴 造 长度
槽, $\varphi_{槽}$ : 三轴 试验强度参数 (指标)	酝: 重量, 责—择平面上破坏线斜率
槽, $\varphi_{槽}$ : 三轴 试验强度参数 (指标)	酝, 皂: 重量, 质量
槽, $\varphi_{槽}$ : 有效应力强度参数 (指标)	皂: 体积压缩系数
阅: 无粘性土相对密度	晕: 贯入击数, 动荷往复次数
耘: 弹性模量	晕, 晕, 晕: 承载力因数
耘: 变形模量	灶: 孔隙率, 井径比
耘: 压缩模量	韵: 超固结比
耘: 非线性切变模量	孕: 竖向合力, 用于表达百分数或概率
耘: 击实功	责 分布荷载, 球应力, 平均应力
藻 孔隙比	责: 有效球应力, 有效平均应力
云: 力, 系数	奏: 前期固结应力
云: 安全系数	匝: 水平力, 水量, 塑性势函数
鸯: 屈服函数	匝: 击实冲量
郇: 剪切模量	择 分布荷载, 广义剪应力, 流量
郇: 土粒相对密度 (土粒比重)	搔: 地基极限承载力
郇: 非切线剪切模量	砸, 则 半径, 矢径
早: 重力加速度	杂: 沉降量
匀, 澡: 高度, 土层厚度, 排水距离, 水头	
隕, 隕: 塑性指数, 液性指数	

杂<sub>藏</sub>: 瞬时沉降量、土层压缩量

裁, 贼: 时间

哉: 固结度

怎: 孔隙应力

怎<sub>藏</sub>: 动孔隙应力

怎<sub>藏</sub>, 怎<sub>藏</sub>: 孔隙气应力与孔隙水应力

怎<sub>藏</sub><sub>藏</sub>: 非饱和土其质吸力

灾: 体积

增: 体积, 速度

憎: 含水率, 用于上下标表示水

憎<sub>藏</sub>: 最优含水率

憎<sub>藏</sub>, 憎<sub>藏</sub>: 塑限, 液限

怎, 增, 憎: 曾, 赠, 扎方向的位移

载, 再, 在: 体积力, 坐标

载: 统计平均值

曾, 赠, 扎: 坐标

$\delta$ : 变异系数

$\delta$ <sub>泽</sub>: 黄土湿陷系数

$\phi$ : 加载函数

$\varphi$ <sub>园</sub>: 外摩擦角

$\sigma, \varepsilon$ : 应力与应变 (一般表达)

$\tau, \gamma$ : 剪应力与剪应变 (一般表达)

$\tau$ <sub>藏</sub>: 土的抗剪强度

$\tau$ <sub>藏</sub>,  $\gamma$ <sub>藏</sub>: 动剪应力与动剪应变幅值

$\gamma, \gamma$ <sub>藏</sub>,  $\gamma$ <sub>藏</sub>,  $\gamma$ <sub>藏</sub>: 土的重度、干重度、饱和重度、浮重度 (有效重度)

$\sigma$ : 总应力 (一般表达)、均方差

$\sigma$ <sub>忆</sub>: 有效应力 (一般表达)

$\varepsilon$ <sub>藏</sub>,  $\varepsilon$ <sub>藏</sub>: 弹性应变与塑性应变

$\varepsilon$ <sub>泽</sub>,  $\varepsilon$ <sub>增</sub>: 广义剪应变与体积应变

$\lambda$ : 阻尼比, 系数

$\mu$ : 泊松比

$\mu$ <sub>藏</sub>: 切线泊松比

$\rho, \rho$ <sub>藏</sub>,  $\rho$ <sub>藏</sub>,  $\rho$ <sub>忆</sub>: 土的密度、干密度、饱和密度、浮密度 (有效密度)

$\rho$ <sub>憎</sub>: 水密度

$\sigma$ <sub>藏</sub>: 试验模拟的前期固结应力

$\theta$ : 角度, 体积含水率

# 目 录

序

前言

主要术语符号表

第 1 章 绪论.....	1
1.1 土力学的研究历史与现状 .....	1
1.2 高等土力学的研究内容与方法 .....	1
1.3 关于课程教学 .....	1
第 2 章 土的生成与基本性质.....	2
2.1 土的生成与物质成分 .....	2
2.2 土的相及其性质 .....	2
2.3 土的化学性质 .....	2
2.4 土水气相互作用 .....	2
参考文献 .....	2
第 3 章 土的固结与流变理论 .....	3
3.1 概述 .....	3
3.2 土的固结理论 .....	3
3.3 土的大变形固结理论 .....	3
3.4 土的动力固结理论 .....	3
3.5 非饱和土的固结理论 .....	3
3.6 土的流变理论 .....	3
参考文献 .....	3

第 源章	土的抗剪强度理论 .....	愿怨
源贖	概述 .....	愿怨
源園	无粘性土的抗剪强度 .....	愿怨
源園	粘性土的抗剪强度 .....	愿源
	参考文献 .....	愿愿
第 缘章	土的渗流理论 .....	愿怨
缘贖	土体渗流的基本概念 .....	愿怨
缘園	土体渗流的基本定律 .....	愿源
缘園	饱和—非饱和土体渗流的基本方程 .....	愿园
缘源	岩土渗流问题的有限元解法 .....	愿园
缘源	流网及其应用 .....	愿园
缘园	饱和土体渗透系数的确定方法 .....	愿猿
缘苑	非饱和土体渗透特性 .....	愿愿
	参考文献 .....	愿园
第 远章	土的本构关系 .....	愿猿
远贖	土的变形特性 .....	愿猿
远園	土的非线性模型 .....	愿园
远園	土的弹塑性模型理论 .....	愿苑
远源	土的弹塑性模型举例 .....	愿怨
远缘	土与结构接触面模型 .....	愿缘
	参考文献 .....	愿园
第 苑章	岩土极限分析法 .....	愿源
苑贖	岩土极限分析法研究概述 .....	愿源
苑園	基于破坏理论的上、下限定理 .....	愿缘
苑園	岩土极限分析非线性理论及其应用 .....	愿怨
苑源	岩土极限分析法中存在的问题 .....	愿愿
	参考文献 .....	愿源
第 愿章	地基应力和沉降实用计算 .....	愿源
愿贖	概述 .....	愿源
愿園	地基土层的自重应力 .....	愿源
愿園	外荷载作用下的附加应力计算 .....	愿苑

原	地基沉降计算的实用方法 .....	原
参	考文献 .....	参
第 10 章	土坡稳定分析 .....	10
10.1	概述 .....	10.1
10.2	基本条分法 .....	10.2
10.3	普遍条分法实现 .....	10.3
10.4	普遍条分法公式 .....	10.4
10.5	条分法的基本讨论 .....	10.5
参	考文献 .....	参
第 11 章	地基极限承载力计算 .....	11
11.1	土体的极限平衡理论概述 .....	11.1
11.2	均质地基极限承载力计算 .....	11.2
11.3	斜向荷载下均质地基极限承载力计算 .....	11.3
11.4	双层地基的极限承载力计算 .....	11.4
11.5	地震作用下地基极限承载力计算 .....	11.5
参	考文献 .....	参
第 12 章	土的动力特性 .....	12
12.1	概述 .....	12.1
12.2	饱和砂土的振动液化 .....	12.2
12.3	饱和粘性土的动强度 .....	12.3
12.4	饱和土振动孔隙水压力的增长规律 .....	12.4
12.5	土的动力本构关系 .....	12.5
参	考文献 .....	参
第 13 章	填土的工程性质 .....	13
13.1	概述 .....	13.1
13.2	粗粒土的压实和力学特性 .....	13.2
13.3	粘性土料的压实和力学特性 .....	13.3
13.4	填方工程的设计、施工与质量控制 .....	13.4
13.5	填土的湿化变形 .....	13.5
参	考文献 .....	参

第 4 章 土工问题的可靠度分析 .....	4
4.1 概述 .....	4
4.2 概率分析在土工问题中的应用 .....	10
4.3 可靠度分析方法 .....	10
4.4 土工问题的优化设计 .....	4
参考文献 .....	10



破了先前弹性介质模型和刚塑性模型的局限，土力学学科发展进入了崭新的现代发展阶段。其后的近几十年来，土力学研究取得了多方面的重要进展，例如：土体非线性和弹塑性本构模型研究和应用；非饱和土渗流固结变形与强度理论的研究；土结构渐进破坏理论与损伤力学模型研究；砂土液化理论与动力固结模型的研究；特殊土（淤泥及淤泥质土、黄土、膨胀土、红粘土、冻土、垃圾土等）性质的研究；土的微观力学模型的研究；土与结构相互作用研究以及数值分析与模拟方法的研究，等等。应该指出，土力学理论的发展与应用成就离不开其他学科新理论、新方法的创立与发展进步所带来的试验手段和技术的进步，以及计算手段和计算方法的进步，例如各种新型的精密仪器的应用，计算机的广泛应用等。

## 1.1 高等土力学的研究内容与方法

尽管土力学学科进入了崭新的现代发展阶段，人们对土的性质已经有了比较深入的了解，也取得了前所未有的工程应用成就。但是，21世纪人类正面临着资源和环境严峻现实的挑战，有许许多多问题需要应用土力学学科知识来解决，仍然需要更全面地深化对土的认识，以期人们对土的认识和应用达到“自由王国”的境界。因此，从这个意义而言，土力学的主要研究内容必须包括如下几个方面：①土的成因、结构、物质组成与相互作用；②土体的应力变形规律；③土体的强度及其稳定性分析；④水在土中的运动及对土应力变形和强度、稳定的影响；⑤采用各种可能的测试方法和手段研究土的物理力学性质；⑥应用土力学的基本原理研究新方法、新工艺、新材料并解决实际工程问题。高等土力学是相对于初等土力学而言的，是建立在已有土力学理论与应用成果基础之上的课程，强调的是全面和深化对土性质的理论研究和应用研究。

在初等土力学中，关于土的变形规律、强度规律、渗流规律以及计算方法等所进行的研究和讨论相对而言是初步的，基本属于经典土力学的范畴。例如：变形规律只局限于单向压缩，饱和土的单向（一维）固结，实际上土的变形和固结是多向的（二维或三维），也未涉及非线性和弹塑性计算模型，强度规律以研究无粘性土和粘性土的共性特征为主，未涉及多种类型土强度特征的个性和非线性问题，也未深入讨论土的结构性，固结和强度理论仅局限于研究饱和土，而未涉及非饱和土问题；所介绍的计算方法相对简化，难以模拟计算更为复杂的工程实际情况等。

在高等土力学中，虽然还是围绕土的变形规律、强度规律、渗流规律以及计算方法等展开研究，但是比起初等土力学来，其研究的广度和深度要大得多。仍然要继续研究饱和土，但将更多地注重研究非饱和土；继续研究单向（一维）的变形与固结，更注重多向的（二维或三维）的变形与固结研究；既研究各类土的共性又更关注他们各自的个性，例如结构性土的变形强度特征、各种特殊土的变形强度特征等；既研究土的常用模型及其改进，又更注重土的非线性和弹塑性性

质的研究并建立相应模型。此外，还不断探索更精密、更方便试验仪器的研制，试验技术研究，合理计算参数取值方法的研究；探讨能够更好地模拟实际工程的各种计算方法与应用研究，等等。高等土力学将更全面的以更宽广的视角、更深层次、应用多学科交叉的理论和方法对土的性质进行研究，解决更复杂的工程问题，因而从某种意义上讲也是发展中的土力学。

土力学的研究与其他学科的研究一样，必须经历学习的过程，进而才能进行进一步探索从而才能有所发展和创新。学习既来源于对前人知识的继承，例如书本、工程资料，也来源于人们的实践，同时还来源于其他各种信息资源。高等土力学的理论研究与发展大体上可归纳为三步曲：试验研究或工程调研，理论上的假设、归纳和抽象，模型验证和工程模拟，三者相互依存相互促进。

首先，必须重视试验研究，试验研究是对土性认知的必由之路，是继承和发展前人成果的基点，土工试验在土力学研究及工程应用中具有极其重要的地位。室内试验研究、模型试验研究、现场测试是揭示土的物理力学性质的有效途径，也是取得合理设计计算参数的必要手段，同时又是检验计算模型、计算方法的重要依据。另一方面由于土体的复杂性、多样性及多变性，因而也只有进行系统的试验研究，通过分析大量的测试资料才能进一步研究各类土的共性和个性，推动理论发展。现代土力学研究，将尽可能应用现代的试验仪器、试验方法和先进的测试手段研究土的性质，只有这样人们才能够更好地认识和更精确地描述土。应该指出，目前我国土工试验普遍还处于相对粗糙阶段，例如原位取样技术、原位测试技术、制样技术、模型技术等水平还较低，常用的仪器测试精度不很高；先进仪器匮乏以及对新仪器研制的投入不足等都与发达国家存在着明显的差距。这就要求研究者和工程师们与机械、电子等工程师们合作，应用他们的科技成果创造新的土工试验仪器，研究先进的土工试验技术，包括现场测试技术。

其次，合理地应用假设进行科学的归纳和抽象。处理试验研究成果和工程中的土力学问题时，由于问题的复杂性，有时必须有依据地适当应用假设，抓住问题实质，突出主要矛盾，采用恰当的数学和力学的方法及学科交叉知识进行演绎、归纳，进而对土性进行抽象概括，建立相应的模型，利用模型反映土体性质。应该指出，土力学学科在建立自身理论体系中常常借用或引用其他临近学科的知识成果，当然这种借用或引用应该慎重，必须达到能够确切反映土体应力变形、强度基本性质的要求。

最后，必须进行模型验证。在归纳土体应力变形、强度规律、渗流规律建立相应的模型之后必须进行模型验证。验证的过程也是对假设的求证和对借用或引用其他临近学科知识成果合理与否的检验。简单的说，所建立的模型必须经其他试验（测试）或工程应用来检验其适应性，好的模型应该在一定范围内有其适用性，并能指出其不适用范围。必须指出，由于土的成因多种多样，又是多相体介

质，其物理力学性质十分复杂，期望建立一个普遍适用于任何土类或任意加载条件的模型是不现实的。

目前的理论和试验手段还远不能够准确地揭示、描述和预测土性的全部，但我们的研究目标就是试图努力做到这一点，好的模型应当能够较好的模拟实际工程从而指导工程实践。应该指出，涉及与实际工程有关的土工问题更是复杂，期望完全精确的描述和预测土体应力变形、渗流、破坏是不切实际的，因而经验是不可或缺的。这里经验包括两个方面：一是工程经验，二是理论模型和试验参数的运用经验。经验由两种途径获得，一是由自己直接经验获得，二是通过间接经验获得，两者不偏废方可构筑“经验之塔”。此外，还必须应用理论和经验对实际工程进行模拟和计算方法的研究。

目前，高等土力学的研究可概括为四个环节：即理论研究、试验研究、计算方法和工程应用研究。也正如一些学者所指出的，土力学研究出现四个分支：理论土力学，实验土力学，计算土力学，应用土力学。不论是四个环节也好还是四个分支也好，在高等土力学学科中理论研究、试验研究、计算方法和工程应用研究是相互联系的，是此生彼长循环渐进地发展的。

## 二、关于课程教学

土是天然材料，是颗粒材料的结合体，成因多种多样，是多相体介质，其物理构成和力学性质都十分复杂且具有很强的个性。土力学的形成和发展来源于工程实际，反过来又指导工程实际，应用十分广泛。高等土力学课程是土木、水利、交通、环境、地质等专业硕士研究生的重要专业基础课，是岩土工程专业硕士研究生的骨干课程，也是某些专业博士研究生的选修课程；是一门与工程实际密切联系的课程，强调理论学习的同时更应强调土工试验和工程实践对高等土力学学习和创新的重要地位。在本课程学习中强调学生的基础理论和基本工程技能训练并重，注重综合能力的培养，采用理论联系实际的方法，同时，结合科研工作、学位论文的撰写吸收前人的知识成果并有所创新。强调土工试验在高等土力学学习中的重要性，是学习和发展高等土力学的重要手段。既有理论创新又动手能力强的人员才符合社会对人才的要求。

通过本课程的教学活动，从认知角度要求学生：①了解土的物质组成，基本物理、化学性质，初步掌握土的微观结构与一般性质；②深化有效应力原理概念，掌握土的二维、三维固结理论，土的大变形固结理论与流变理论并用于计算实际工程问题，了解非饱和土的固结理论；③进一步深化土的抗剪强度理论，掌握土的破坏过程、破坏形态与破坏准则以及土的抗剪强度取值标准；④掌握土的渗流理论和渗流基本方程的应用，了解渗透变形机理并应用于实际工程的渗流控制；⑤了解土的非线性和弹塑性变形特性，掌握并应用土的非线性和弹塑性模型

的基本理论以及土与结构的接触面模型概念与方法；⑥掌握土的塑性极限分析理论和滑移线理论和应用；⑦学会多种方法的地基应力计算，熟习计算地基沉降包括各向异性土和成层土的地基沉降的各种计算模型和计算方法，掌握试验方法与沉降计算参数的确定；⑧掌握多种分析土坡的方法，从机理上分析土坡稳定的原理并提出边坡防护与滑坡治理的可能措施；⑨掌握应用土的极限平衡条件来计算浅基础、深基础以及倾斜荷载和双层地基的极限承载力，掌握确定地基承载力的其他理论和测试方法；⑩了解土的动力变形和强度性质，掌握饱和砂土的振动液化的判别与治理方法，掌握土的动力本构关系的建立与参数确定；⑪了解现场压实试验和粗粒土料、粘性土料的压实和力学特性，弄懂填方工程的设计、施工与质量控制原理，掌握填土的湿化变形特性和湿化参数的测试；⑫了解土工问题的可靠度分析的意义及土工问题可靠度的分析方法和优化设计原理。

教学中，教师不仅要注重教学方法和教学内容的改革，如进行启发式的教育，注重培养学生的自学能力，激发学生的学习主观能动性，并培养他们的综合能力及创新精神。还应考虑到该课程的特点，强调学生的基础理论和基本工程技能训练并重，并强调试验和试验成果分析在高等土力学教学中的地位。高等土力学理论的发展必须依赖于工程实践，同时又需要用理论来指导工程实践，在解决一系列工程问题中获得了新的发展，这就强调了实践的第一位性。在课堂教学中引导学生积极思维，揭示矛盾，加强学生的联想能力、发散思维能力，鼓励创新；其次是在课堂讲授中淡化繁琐的数学推导过程与数字运算，强化定性分析，强化基于基本概念的直观判断，突出分析思路和分析方法。再者还应引导学生自己思考，为学生留出充分的思维空间。

“教学”是“教”和“学”两个方面的统一体。通过本课程的教学活动，从创新角度要求学生：在掌握或了解课程知识的同时，发现现有课程内容的成熟程度、不完善之处甚至研究空白。培养学生的创新思想，认识高等土力学是发展中的土力学，要求学生提出值得进一步改进或深入研究的课题，制定一、两个课题的研究目标并提出研究路线和方法。应该指出，本书所列内容远非高等土力学的全部，学习本课程只是学习和研究工作的起步，是将来从事研究和工程实践的基础。尽管从事不同专业或研究方向的学生学习与应用土力学的侧重点有所不同，但希望他们不要只局限于本书的学习，还要大量阅读其他文献著作，关注其他的信息来源，注意发挥交叉学科在创新方面的作用。

人类社会经济发展日新月异，现在和将来都有大量的工程需要兴建，例如高层建筑、大型厂房、大型水利枢纽工程、海岸工程、高速公路、高速铁路、机场、大型桥梁、隧道与地下交通工程、地下停车场与人防工程、工业与生活废弃物处理等都提出了许多岩土工程课题，给青年岩土工作者提供了施展才华的舞台，然而这恰恰又是赋予他们应肩负的历史重任。

# 第 四 章 土 的 生 成 与 基 本 性 质

## 圆 圆 土 的 生 成 与 物 质 成 分

土是由岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒，经过不同的搬运方式，在自然环境中生成的沉积物。风化作用包括物理的、化学的、生物的作用。物理作用包括风、水、冰川、热胀冷缩、加载卸载以及冻融交替作用等；化学作用包括水解作用、离子交换作用、氧化还原作用、碳化作用等；生物作用包括微生物、植被、树木、人与动物活动等对岩土的作用。

土的物质成分包括作为土骨架的固态矿物颗粒、孔隙中的水和溶解物质以及气体。因此，土是由颗粒（固相）、水（液相）和气（气相）所组成的三相体。土的三相组成物质的性质、相对含量以及土的结构构造等各种因素，必然在土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态上有不同的反映。因此，土的结构及其物理力学性质与土的形成历史密切相关。

## 圆 圆 土 的 生 成

由岩石风化形成的土可能留存在原地，也可能经过风、水或冰川的剥蚀和搬运作用，在别处沉积形成土层。留存在原地的土称为残积土；由风的剥蚀和搬运作用而在别处沉积的土称为风成沉积土。风成沉积土包括黄土、砂丘；由水的侵蚀和搬运作用在别处沉积的土称为沉积土。随着水流的过程，根据不同的沉积条件可分为：坡积土、洪积土、山区河谷冲积土、平原河谷冲积土、湖相沉积土、三角洲沉积土、海相沉积土等；由冰川活动的剥蚀和搬运作用在别处形成的土称为冰川沉积土。除了由岩石风化形成土外，植物分解也形成土，如泥炭土、腐植土等。

残积土的特性在很大程度上取决于母岩的性质，残积土与母岩两者的矿物成分相差不大。残积土与基岩之间没有明显的界限，通常经过强风化层、弱风化层过渡到新鲜岩石（图圆圆）。残积土与强风化层很难区分，残积土常常是由于雨、雪水流将细颗粒带走后残留的较粗颗粒的堆积物。残积土未经搬运，故土体颗粒



图 圆 圆 残 积 土