



北京高等教育精品教材
BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

清华大学土木工程系列教材

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

Advanced Soil Mechanics (second Edition)

高等土力学 (第2版)

李广信 主编

Li Guangxin



清华大学出版社



北京高等教育精品教材
BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

清华大学土木工程系列教材

研究生教学用书
教育部学位管理与研究生教育司推荐

Advanced Soil Mechanics (second Edition)

高等土力学 (第2版)

李广信 主编

Li Guangxin



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是研究生教材《高等土力学》的第2版。它力图在本科土力学的基础上,以更开阔的视角介绍、展示本学科的发展和基本研究成果,特别注意介绍我国学者在相关领域的贡献,从而引导研究生迈进土力学科研的门槛,使他们了解土力学科研的历程、主要成果、研究途径和方法。

本书内容基本上是本科土力学的延伸。全书共分6章:土工试验及测试、土的本构关系、土的强度、土中水及其渗流、土的压缩与固结和土坡稳定分析。各章附有例题、习题和思考题。

本书被评为北京市精品教材,可作为与岩土工程有关专业研究生和教师的教材与参考书;也可作为对土力学有兴趣的本科生、科研人员与工程技术人员的参考书和进修读物。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

高等土力学/李广信主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2016

(清华大学土木工程系列教材)

ISBN 978-7-302-43957-8

I. ①高… II. ①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(2016)第113479号

责任编辑:秦娜

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:28.5

字 数:694千字

版 次:2004年7月第1版 2016年10月第2版

印 次:2016年10月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:65.00元

第 2 版前言

《高等土力学》教材出版已经十多年了,这期间重印十余次,已发行两万余册。本书为普及土力学的基础理论知识和介绍土力学的学科发展有所贡献,也在培养岩土工程的专业人才中起了很大的作用。本书的深度与广度适中,附有思考题与习题,对土力学的基础研究成果做了清楚的介绍与讲述。如果说本科土力学学习的重点是培养工程师,让学生掌握土力学的基本概念与原理,便于他们今后从事岩土工程的实践,那么高等土力学就是将学生引进科研的门槛,使他们了解土力学研究的历程、成果和方法。本书也适用于从事岩土工程实践多年的工程师和专家,他们对土工问题积累了深厚的实践经验,本书有利于他们进一步提高和充实理论知识,从而实现理论与实践的结合。

十多年来,土力学的理论、实践以及认识都有了很大的进展。本书已不能反映土力学的学科和教学的发展,需要改进与提高,以适当地反映学科的进步和发展。

十年来,笔者每年都讲授《高等土力学》课程,前些年还参与博士研究生入学考试和综合考试的命题工作,同时还参与了注册岩土工程师考试的命题工作,在这些考试中投入了很多的时间和精力,积累了大量的考题。把这些命题经验和成果用于此次改版中,使新教材更加充实,新版书中习题与思考题的题量大大增加了,并在书后附上习题的答案;每一章都附有例题。这就扩展了此书的内容,丰富了课程的环节,有利于读者掌握和巩固所介绍的知识。

在第 2 版中,对各章内容都做了一些增改,删去了第 7 章。之前不少读者反映第 1 版的第 6 章内容偏难偏深,阳春白雪,和者盖寡,一般都舍去不讲。第 2 版修订过程中,认真采纳了读者的反馈,考虑到本书属于一本科研入门级水平的教材,并不是土力学各领域前沿的综述,是在本科土力学的基础上介绍学科的发展和基础研究成果的研究生教材,所以重写了第 6 章。第 4 章增加或修订了非饱和土与渗流计算的内容。

其中第 6 章主要由介玉新编写与修订,李广信做了校对及补充;张丙印编写了第 4 章的部分内容,使此章的总体水平有很大的提升;在校对例题、习题、思考题以及相关方面,于玉贞、张丙印和林鸿州都做了很大的贡献。在这里特别感谢本书的原参编者濮家骝、王正宏、王钊、陈祖煜和陈立宏,也感谢十余年来选课的那些研究生们,他们的质疑和意见为本书的改进和提高提供了宝贵的意见。

第 2 版的内容变化较大,思考题、习题与例题也有较大难度。希望能与同行切磋探讨,谬误之处敬请批评指正。

李广信
2016 年 5 月

第 1 版前言

与相对成熟和系统的土力学本科教材相比,多年来国内一直缺少比较系统的、适用于岩土工程专业研究生的高等土力学教材。我国在 20 世纪 70 年代末开始恢复研究生制度,随后实行学位制,当时岩土工程的研究生数量很少,都是直接由老教授们面授,有时是“一生多师”,使学生们有幸亲聆老一代专家们讲授本学科的发展和前沿知识。80 年代初,黄文熙先生预见到大量培养研究生的形势即将来临,同时他感到由于十年浩劫,国内的岩土工程专业人员对于国外的土力学发展相当生疏,亟须补课,于是,黄文熙先生带领他的弟子们遍读在此期间国外书刊发表的重要文献,针对学科中的几个主要课题,编写了《土的工程性质》一书。随后先生在北京举办过几期岩土工程讲座。在这个基础上,北京有关院所的一些岩土工程专家开始联合讲授高等土力学这门课,组织北京地区的岩土工程专业的研究生集中听讲。这种联合授课的形式持续了十多年,地点几经变动,内容也未完全成型,有时也是因人设题。就这样,这门课培养了许多岩土工程技术人员和专家。但逝者如斯,岁月无痕,十余年后,最初授课的专家们大多年事已高,有的已经离开了我们。这门课后来就固定在清华大学进行教授,主要是由清华大学的教授们授课。多年来,学生们一直希望有一本系统的、与讲课配套的教材,因此,本书就应运而生了,这本教材是在大家多年讲课内容的基础上编写的。其内容并不是本学科最新和前沿的发展,只是包含了比本科教材内容更深入一步的知识,适当地介绍了新的发展和成果,使研究生们对于土力学学科能有比较深入和全面的了解,为他们的选题打下一定的基础。由于本书各章编者都是相应领域的专家,在编写过程中,也收入了他们个人的研究成果,同时也特别注意介绍我国学者的代表性研究成果。另外,在各章后边附有一定数量的思考题、习题或计算程序。

全书共分 7 章,内容及其作者如下:第 1 章 土工试验及测试(李广信,清华大学,北京,100084);第 2 章 土的本构关系(李广信,清华大学;濮家骝,清华大学);第 3 章 土的强度(李广信);第 4 章 土中水与土中的渗流及其计算(王钊,武汉大学,武汉,430072,清华大学双聘教授;李广信);第 5 章 土的压缩与固结(王正宏,华北水利学院北京研究生部,北京,100044);第 6 章 土工数值计算(一):土体稳定的极限平衡和极限分析法(陈祖煜,中国水利科学研究院,北京,100044,清华大学兼职教授);第 7 章 土工数值计算(二):渗流、应力应变和固结的有限元方法(陈祖煜;陈立宏、李新强和王成华等也参加部分内容的编写)。其中第 1 章和第 3 章由濮家骝校阅;第 5 章由清华大学周景星和李广信校阅;第 6 章

IV 高等土力学(第2版)

由李广信校阅;第7章由宋二祥校阅。另外,沈珠江和杨光华也校阅了部分章节。

笔者感谢参加本书编写和校阅的各位教授在繁忙的工作之余,以他们渊博的学识和严谨的作风为莘莘学子提供了这本宝贵的教材。另外也感谢参加本书校阅、补充、打印和整理的我的学生们,他们是周晓杰、张其光、王成华、葛锦宏、余斌、刘早云、童朝霞、王海燕、高波等。

由于编者的水平所限,书中的谬误和不当之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

李广信
2002年10月

符 号 表

A ——面积;塑性硬化模量;土的非线性强度;孔压系数	C_a ——非饱和土中与气相有关的相互作用常数
\AA ——埃(10^{-7} mm)	C_w ——非饱和土中与液相有关的相互作用常数
A_c ——土颗粒间的接触面积	\bar{C}_v ——土层的平均固结系数
A_D ——截面上因损伤断裂产生的孔隙面积	C_α ——次压缩系数
A_{ef} ——截面上有效受力面积	C^w, C_w ——水的压缩系数
a ——加速度;基础尺寸;三维孔压系数;初始模量的倒数;断裂试验中的预留裂缝尺度	c ——黏聚力;三维孔压系数;空气浓度
a_v ——压缩系数	c_{cu} ——固结不排水试验的黏聚力
B ——体积变形模量;孔压系数	c_e ——真黏聚力;除以安全系数后的黏聚力
BST——钻孔剪切试验	c_u ——不排水试验的黏聚力;饱和土不排水抗剪强度
b ——毕肖甫(Bishop)参数;三维孔压系数;基础的宽度;极限应力的倒数;土的非线性强度指数	c'' ——非饱和土的表现黏聚力
C ——体积压缩系数;总黏聚力;土的组成	D ——损伤因子;德赛的扰动因子;剪胀参数,内能耗散;邓肯-张模型中的常数
C ——单元渗透矩阵	D, d ——直径
C_a, C^a ——土中气相的压缩系数	D_a ——空气传导系数
C^{aw} ——空气和水混合体的压缩性	D_e ——弹性模量矩阵
C_c ——压缩指数	D_{ep} ——弹塑性模量矩阵
C_e ——再压缩指数,竖向应力下土骨架的水平变形系数	D_r ——砂土相对密度
C_f ——孔隙流体体积压缩系数	d ——基础埋深;土颗粒粒径
C_{ijkl} ——本构模型中的材料性质张量	d_{10} ——土的有效粒径
CD——固结排水	d_e ——砂井的等效直径
CGC——控制孔压梯度固结试验	dE ——变形能增量
CRT——恒应变速率固结试验	dW^e ——弹性变形能增量
CTC——常规三轴压缩试验	dW^p ——塑性变形能增量
CTE——常规三轴伸长(挤长)试验	E ——变形模量;弹性模量;变形能;电荷的静电单位
CSL——临界状态线	E_i ——初始变形模量,土条间水平法向力
C_s ——土骨架的体积压缩系数;孔隙通道形状系数	E_s ——(侧限)压缩模量
C_u ——土的不均匀系数	E_t ——切线变形模量
CU——固结不排水三轴试验	E_u ——不排水时的弹性模量
C_v ——固结系数	E' ——有效应力下弹性模量
C_{v1}, C_{v2}, C_{v3} ——单向、二向和三向固结系数	E_{ur} ——卸载-再加载的弹性模量
C_{vc} ——竖向固结系数	E_p ——旁压模量
C_{vr} ——径向固结系数	ESP——有效应力路径

- E_{sec} ——割线模量
 e ——孔隙比
 e_{ij} ——偏应变张量
 e_0 ——初始孔隙比
 e_{cr} ——临界孔隙比

 F ——邓肯-张模型中的常数
 F_s ——安全系数
 F_z ——渗透力的反作用力
 f ——屈服函数;初始剪应力比
 $f(\sigma_{ij}, k_l)$ ——破坏准则
 $F(n)$ ——砂井中井径的函数

 G ——剪切模量;井阻因子;条间力的合力;邓肯-张模型的常数
 G' ——有效应力下剪切模量(排水条件下)
 G_{i-1} ——第 $i-1$ 土条的剩余下滑力
 G_s ——土粒比重
 G_t ——切线剪切模量
 g ——重力加速度
 $g(\sigma_{ij})$ ——塑性势函数

 H ——厚度;高度;Hvorslov 面斜率;应力历史
 H, h ——硬化参数
 HC ——各向等压三轴试验
 h ——测管水头;亨利溶解系数
 h_c ——毛细管水上升高度
 h_s ——土中毛细饱和区高度
 h_t ——水平地震力作用点与条底中点的距离
 h_w ——孔隙水压力水头
 $I(h)$ ——渗流方程泛函
 I ——载荷试验确定变形模量的系数
 I_1, I_2, I_3 ——第一、二、三应力不变量
 $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$ ——第一、二、三应力不变量的另一种表达式
 I_{e1}, I_{e2}, I_{e3} ——第一、二、三应变不变量
 I_L ——液性指数
 I_P ——塑性指数
 I_z ——应变影响因数
 i ——水力坡降
 i_{cr} ——临界水力坡降
 i_s ——毛细管内的水力坡降
 J ——总渗透力

 J_1, J_2, J_3 ——第一、第二、第三偏应力不变量
 J_n ——通过单位面积土的空气流量
 j ——渗透力

 K ——体变模量;变形模量数
 K_0 ——体变模量数
 K_0 ——静止土压力系数
 K_t —— σ, τ 坐标破坏主应力线
 K_1 ——应力强度因子
 K_{IC} ——张开型(I型)断裂韧度
 K_a ——主动土压力系数
 K_p ——被动土压力系数
 K_{ur} ——卸载—再加载模量数
 k ——常数;渗透系数;玻耳兹曼常数;强度参数
 k_a ——土中空气的渗透系数
 k_t ——强度参数
 k_w ——砂井的渗透系数(考虑井阻)
 k ——渗透系数矩阵
 L, l ——长度, 渗径
 LDT ——局部变形传感器
 L_m ——模型尺寸
 L_p ——原型尺寸
 M ——弯矩;以 q/p' 表示的临界状态线斜率(强度应力比)
 M_n ——气体的摩尔质量
 M_c ——三轴压缩的强度应力比
 M_R ——抗滑力矩
 M_S ——滑动力矩
 M_t ——扭矩弯矩, 三轴伸长的强度应力比
 m ——质量;体积变化系数;体变模量指数
 m_{1k}^s, m_{1k}^w —— K_0 条件下净法向应力变化 $d(\sigma - u_n)$ 时土骨架体积和水体积变化系数
 m_{2k}^s, m_{2k}^w —— K_0 条件下基质吸力变化 $d(u_n - u_w)$ 时土骨架体积和水体积变化系数
 m_s ——土中固体颗粒的质量
 m_v ——土的体积压缩系数
 m_w ——土中水的质量
 N ——法向压力;标准贯入击数; $v - \ln p'$ 固结曲线在 v 轴上的截距
 N_i ——滑动面上法向力;形函数
 N, C ——正常固结
 NCL ——正常固结线
 $N_{63.5}$ ——重型动力触探贯入击数

- N ——单元形函数矩阵
 n ——孔隙率;模型比尺;初始变形模量的指数;离子浓度
 n_j —— s 面法线的方向导数
 OCR——超固结比
 O. C——超固结

 P ——力;总压力;条间力合力
 P_T ——转移概率
 PL——三轴等比试验
 P_i ——条间合力
 p ——平均主应力
 p' ——平均有效主应力
 p_0 ——基底附加压力;各向等压的固结应力;旁压试验初始压力
 p_a ——大气压;主动土压力
 p_c ——土的先期固结压力
 p_{cr} ——临界荷载(承载力)
 p_{eq} ——拟似超固结黏土的等效固结压力
 p_f ——旁压试验屈服压力
 p_L ——旁压试验极限压力
 p_p ——被动土压力
 p_s ——单桥静力触探的总比贯入阻力;土层目前的上覆固结压力
 pF——吸力指数
 p_u ——极限荷载(承载力)
 p_w ——水压力

 Q ——非饱和土体的压缩模量;流量
 QOCR——拟似超固结土
 ΔQ ——水平地震力
 Q_p, Q_s ——双桥静力触探的锥尖、侧壁总贯入阻力
 q ——广义剪应力;单位宽度上表面垂直荷重;单位面积流量
 q_p, q_s ——双桥静力触探的锥尖、侧壁比贯入阻力
 q_{ult}, q_u ——地基极限承载力

 R ——通用(摩尔)气体常数;颗粒间接触面性质;抗滑力;半径;土沉降速率的常数
 R, r ——半径
 R_o ——空心圆柱外径
 R_i ——空心圆柱内径;抗滑阻力

 R_f, r_f ——破坏比
 R_h ——水力半径
 Re ——雷诺数
 RPT——标准贯入试验
 RTC——减围压的三轴压缩试验
 RTE——减轴向应力的三轴伸长试验
 r_w ——砂井半径

 S ——地基沉降量;应力水平;土的结构
 S_c ——固结沉降量
 S_i ——瞬时沉降量;评分
 SC——罗斯柯线
 SL——回弹线
 SPC——螺旋板压缩试验
 SPT——标准贯入试验
 S_s ——次压缩沉降量;单位体积土固体的表面积,储水率
 S_R ——瞬时沉降比
 S_{re} ——有效饱和度
 S_{rr} ——残余饱和度
 S_T ——用弹性理论计算的地基总沉降量
 S_R ——瞬时沉降的沉降比
 S_r ——土的饱和度
 s ——非饱和土中基质吸力;沉降
 s_r ——残余基质吸力
 s_u ——黏土的不排水试验强度
 s_{ij} ——偏应力张量

 T ——剪切力;扭矩;温度;绝对温度;表面张力;曲折系数
 T_i ——作用于表面上的边界力,滑动面上的切向力
 T_{sl} ——收缩膜中的固-液相间的力
 T_{lg} ——收缩膜中的气-液相间的力
 T_{ls} ——收缩膜中的液-固相间的力
 TC—— p 为常数的三轴压缩试验
 TE—— p 为常数的三轴伸长试验
 TS——伏斯列夫线
 T_v ——无因次时间因数
 t ——时间;温度
 t^0 ——摄氏温度, °C
 t_p ——主固结完成的时间

 U ——固结度;总孔隙水压力

- U_z ——竖向固结度
 U_r ——径向水平固结度
 UU ——(不固结)不排水
 u ——孔隙压力
 u_w ——孔隙水压力; x 方向的位移
 u_0 ——初始孔隙水压力
 u_n ——孔隙气压力
 u_b ——试样底部孔隙水压力
 u_r ——残余孔隙水压力
 u^s ——土骨架在 x 方向位移
 $(u_n - u_w)_b$ ——吸力的进气值
 $(u_n - u_w)_r$ ——残余吸力
 V ——土体的体积
 V, v ——速度
 V ——水在土孔隙中的流速矢量
 V_n ——土中的气体的体积
 V_s ——土中固体颗粒的体积
 V_w ——土中水的体积
 V_v ——土中孔隙部分体积
 VST ——十字板剪切试验
 v ——比体积;流速; y 方向的位移;电荷的离子价
 v_s ——水在毛细管内流速
 v^s ——土骨架在 y 方向位移

 W ——重量;重力;轴向力,变形能密度
 W_c ——塌陷塑性功
 W^e ——弹性变形能
 W^p ——塑性变形能
 W_p ——塑性功
 W_s ——土粒重量
 w ——土的含水量;损伤比
 w_L ——液限含水量
 w_p ——塑限含水量
 w^s ——土骨架在 z 方向位移

 X_i ——土条间的切向作用力
 x —— x 方向坐标距离;水平距离

 y —— y 方向坐标距离

 Z ——滑动面,向量
 z —— z 方向坐标距离;竖直向距离
 z_0 ——张拉缝的深度

 α ——角度;平均孔隙压力 \bar{u} 与 u_b 的比值;强度参数; π 平面上屈服面的形状参数
 α_c ——颗粒的接触面积比
 $\alpha(\theta)$ ——屈服面在 π 平面上的形状参数
 α_T ——温度冷却阻尼系数
 β ——角度;双剪应力强度理论中的参数
 χ ——非饱和土强度准则中的参数,与饱和度有关

 Γ ——CSL $v - \ln p'$ 固结曲线在 v 轴的截距;边界
 γ ——重度;剪应变;角度
 γ' ——浮重度
 γ_m ——天然重度
 γ_s ——土颗粒重度
 γ_{sat} ——饱和土的重度
 γ_w ——水的重度

 Δ^2 ——拉普拉斯算子
 ΔQ_i ——土条上的水平力
 ΔW_i ——土条上的重力
 Δx ——土条宽度
 δ ——位移;很小的增量;固体平面接触面积比
 δ_{ij} ——克罗纳克尔 δ (Kronecker delta)
 $\Delta\delta$ ——试样垂直变形增量

 ϵ ——正应变
 $\bar{\epsilon}$ ——广义剪应变
 $\dot{\epsilon}$ ——应变率
 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ ——大,中,小主应变
 ϵ^e ——弹性正应变
 ϵ^p ——塑性正应变
 ϵ_{ij} ——应变张量
 ϵ_v ——体应变
 $\bar{\epsilon}$ ——广义剪应变
 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ —— x, y, z 方向的正应变

 η ——水的动力黏滞系数;水平地震力系数;最优化方法的目标函数;应力比 q'/p'
 η_1 ——强度参数
 η_i ——加载系数
 Θ ——三个正应力之和
 θ ——角度,应力洛德角,温度
 θ' ——在 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 坐标系的应力洛德角

- θ_w ——土的体积含水率
 θ_e ——应变洛德角
 κ ——正常固结黏土 $v-\ln p$ 曲线卸载—再加载斜率

 λ ——扩散层介质的介电常数; 正常固结黏土 $v-\ln p$ 曲线初始斜率; 胡克定律中的拉梅常数; 条间力斜角的正切值; 比例常数
 $d\lambda$ ——流动规则中的比例参数
 μ ——摩擦系数, 给水度; 剪切模量
 μ_0 ——考虑基础埋深 d 的瞬时沉降修正系数
 μ_1 ——考虑地基压缩层 H 的瞬时沉降修正系数
 μ_c ——沉降修正系数
 μ_s ——应力洛德参数
 Ω ——余能密度函数, 塑性区
 ν ——泊松比; 电荷的离子价
 ν^p ——塑限应变增量比
 ν_i ——切线泊松比

 π ——圆周率
 π —— p 为常数的平面

 ρ ——密度; 电荷密度
 ρ_a ——空气密度
 ρ_d ——土的干密度
 ρ_{sat} ——土的饱和密度
 ρ_w ——水的密度

 σ ——应力, 总应力
 $\bar{\sigma}$ ——应力莫尔圆圆心坐标 $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$
 σ_{3cr} ——临界围压
 σ_a ——轴向应力
 σ_b ——闭合应力
 σ_c ——单轴抗压强度; 围压; 室压
 σ_d ——动三轴试验中的动应力
 σ_m ——球应力张量; 平均主应力
 σ_n ——法向应力
 σ_{oct} ——八面体正应力
 σ' ——有效应力
 σ_i ——主应力
 σ_{ij} ——应力张量
 σ'_p ——土的先期固结应力

 σ_s ——土颗粒断面上的应力
 σ_t ——抗拉强度; 表面张力
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ —— x, y, z 方向的正应力
 $\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{13}$ ——双剪应力理论中的主正应力
 σ_r ——径向应力
 σ_θ ——切向应力
 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ ——三轴试验中的极限偏差应力

 τ ——剪应力
 \bar{r} ——应力莫尔圆半径 $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$
 τ_b ——闭合应力
 τ_f ——破坏剪应力
 τ_{oct} ——八面体剪应力
 $\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{13}$ ——双剪应力理论中的主剪应力

 Φ ——势函数
 φ ——内摩擦角
 φ' ——有效应力内摩擦角
 φ'' ——非饱和土基质吸力的内摩擦角
 φ_{cu} ——固结不排水试验内摩擦角
 φ_c ——真强度理论的内摩擦角; 除用安全系数折减后的内摩擦角
 φ_k ——塑性势函数
 φ_p ——平面应变试验的内摩擦角
 φ_r ——残余强度内摩擦角
 φ_t ——三轴压缩试验内摩擦角
 φ_μ ——滑动摩擦角

 Ψ ——流函数; 扩散层中离土粒表面 x 处的电位
 Ψ_0 ——溶质势
 Ψ_g ——重力势
 Ψ_m ——基质势
 Ψ_p ——压力势
 Ψ_s ——沉降计算经验系数
 Ψ ——连续性因子
 ψ_i ——传递系数

 Ω ——余能密度函数
 ω_n ——气体的分子质量, kg/kmol

 χ ——非饱和土的有效应力系数; 修正系数

目 录

第 1 章 土工试验及测试	1
1.1 室内试验	1
1.1.1 直剪试验、单剪试验和环剪试验	1
1.1.2 侧限压缩试验	3
1.1.3 三轴试验	3
1.1.4 真三轴试验	12
1.1.5 空心圆柱扭剪试验和方向剪切试验	16
1.1.6 共振柱试验	18
1.2 模型试验	19
1.2.1 $1g$ 下的模型试验	19
1.2.2 ng 下的模型试验	20
1.3 现场测试与原型观测	24
1.3.1 平板载荷试验	24
1.3.2 静力触探	25
1.3.3 动力触探	26
1.3.4 十字板剪切试验(vane shear test, VST)	27
1.3.5 旁压试验(pressuremeter test)	28
1.3.6 螺旋板压缩试验(screw plate compressometer, SPC)和钻孔剪切 试验(borehole shear test, BST)	29
1.3.7 物探检测	30
1.3.8 原型监测	30
1.4 试验检验与验证	30
1.4.1 对试验的检验	30
1.4.2 本构关系模型的验证	32
1.4.3 数值计算的检验	33
习题与思考题	35
部分习题答案	39
参考文献	40
第 2 章 土的本构关系	41
2.1 概述	41
2.2 应力和应变	42

2.2.1	应力	42
2.2.2	应变	50
2.3	土的应力应变特性	51
2.3.1	土应力应变关系的非线性	52
2.3.2	土的剪胀性	52
2.3.3	土体变形的弹塑性	53
2.3.4	土应力应变的各向异性和土的结构性	53
2.3.5	土的流变性	55
2.3.6	影响土应力应变关系的应力条件	56
2.4	土的弹性模型	58
2.4.1	概述	58
2.4.2	邓肯-张双曲线模型	62
2.4.3	K-G 模型	69
2.4.4	高阶的非线弹性理论模型	71
2.5	土的弹塑性模型的一般原理	75
2.5.1	塑性理论在土力学中的应用	75
2.5.2	屈服准则及屈服面	75
2.5.3	流动规则(正交定律)与硬化定律	79
2.5.4	弹塑性本构模型的弹塑性模量矩阵的一般表达式	81
2.6	剑桥模型(Cam-Clay)	82
2.6.1	正常固结黏土的物态边界面	82
2.6.2	超固结黏土和完全的物态边界面	85
2.6.3	弹性墙与屈服轨迹	88
2.7	莱特-邓肯模型和清华模型	96
2.7.1	莱特-邓肯模型	97
2.7.2	修正的莱特-邓肯模型	99
2.7.3	清华弹塑性模型	102
2.8	土的结构性及土的损伤模型	106
2.8.1	概述	106
2.8.2	粗粒土的结构	106
2.8.3	黏土颗粒与水的相互作用——双电层	108
2.8.4	黏土颗粒间作用力及黏土的结构	109
2.8.5	土的结构性	111
2.8.6	损伤理论及其在岩土材料中的应用	113
2.8.7	沈珠江结构性黏土的弹塑性损伤模型	117
2.9	土的本构关系模型的数学实质及广义位势理论	120
2.9.1	土的一般应力应变关系及广义位势理论	120
2.9.2	超弹性模型或格林弹性模型	121
2.9.3	柯西弹性模型	122

2.9.4	次弹性模型	122
2.9.5	弹塑性模型的塑性位势理论	123
2.9.6	相适应与不相适应的流动规则	123
2.9.7	多重势面的广义塑性理论	124
	习题与思考题	124
	部分习题答案	133
	参考文献	135
第3章	土的强度	137
3.1	概述	137
3.2	土的抗剪强度机理	140
3.2.1	摩擦强度	140
3.2.2	黏聚力	143
3.3	影响土强度的内部因素	146
3.3.1	土的强度与其物理性质的关系	146
3.3.2	影响土强度的一般物理性质	147
3.3.3	孔隙比与砂土抗剪强度关系——临界孔隙比	150
3.3.4	孔隙比与黏土抗剪强度——真强度理论	153
3.4	影响土强度的外部因素	154
3.4.1	围压 σ_3 的影响	155
3.4.2	中主应力 σ_2 的影响	157
3.4.3	主应力方向的影响——土强度的各向异性	159
3.4.4	土的强度与加载速率的关系	162
3.4.5	温度与土强度的关系	166
3.5	土的排水与不排水强度	167
3.5.1	有效应力原理及孔压系数	167
3.5.2	砂土的排水强度和不排水强度	174
3.5.3	黏土的排水与不排水强度	176
3.6	土的强度理论	183
3.6.1	概述	183
3.6.2	土的经典强度理论	184
3.6.3	土的近代强度理论	189
3.6.4	关于土强度理论的讨论	194
3.7	黏性土的抗拉强度	198
3.7.1	实际工程中的拉伸破坏与开裂	198
3.7.2	土的抗拉强度的测定	199
3.7.3	黏性土的联合强度理论	202
	习题与思考题	203
	部分习题答案	210
	参考文献	212

第4章 土中水及其渗流	213
4.1 概述	213
4.1.1 岩土中的水及其运动.....	213
4.1.2 渗流的工程意义.....	214
4.1.3 土中水的渗流问题的研究历史.....	214
4.2 土中水的形态及其对土性的影响	215
4.2.1 土与水间的物理化学作用、黏土颗粒表面的双电层	215
4.2.2 毛细水与土中吸力.....	218
4.2.3 土的冻胀和冻融作用.....	224
4.3 土的渗透性	227
4.3.1 土中水的势能.....	227
4.3.2 达西定律的物理意义.....	231
4.3.3 影响土渗透系数的因素.....	232
4.3.4 达西定律的适用范围.....	235
4.3.5 非饱和土的渗透性.....	237
4.4 二维渗流与流网	239
4.4.1 二维渗流的基本微分方程.....	239
4.4.2 流网及其应用.....	241
4.5 饱和土渗流数值计算的有限元方法	248
4.5.1 渗流的基本微分方程.....	248
4.5.2 饱和土稳定渗流的有限元计算方法.....	253
4.5.3 饱和土非稳定渗流的有限元计算方法.....	261
4.6 有关渗流的一些工程问题	264
4.6.1 渗透力与渗透变形及其防治.....	264
4.6.2 渗流条件下土坡的稳定.....	268
4.6.3 挡土构造物上的土压力和水压力.....	271
习题与思考题.....	275
部分习题答案.....	284
参考文献.....	286
第5章 土的压缩与固结	288
5.1 概述	288
5.2 土的压缩与地基的沉降	289
5.2.1 土的压缩.....	289
5.2.2 影响土压缩性的主要因素.....	293
5.2.3 沉降产生原因和类型.....	295
5.2.4 瞬时沉降和次压缩沉降.....	299
5.3 地基沉降计算	303
5.3.1 计算方法综述.....	303
5.3.2 单向压缩沉降计算的分层总和法.....	304

5.3.3	考虑三向变形效应的单向压缩沉降计算法	305
5.3.4	三向变形沉降计算法	306
5.3.5	弹性理论法	308
5.3.6	应力路径法	309
5.3.7	剑桥模型法	313
5.3.8	曲线拟合法	315
5.3.9	现场试验法	316
5.3.10	其他方法简述	317
5.3.11	对几种沉降计算方法的评述	318
5.3.12	堤坝沉降的简化计算	319
5.4	单向固结的普遍方程与太沙基固结理论	319
5.4.1	单向渗流固结的普遍方程	320
5.4.2	太沙基单向固结理论	321
5.5	单向固结的复杂情况	326
5.5.1	加荷随时间变化	326
5.5.2	土层厚度随时间变化	332
5.5.3	地基为成层土	334
5.5.4	有限应变土层的固结	335
5.6	二向和三向固结	336
5.6.1	比奥固结理论	337
5.6.2	太沙基-伦杜立克固结理论(扩散方程)	340
5.6.3	比奥和准多维固结理论的比较	341
5.6.4	三向固结的轴对称问题——砂井地基的排水固结	346
5.7	非饱和土的固结	349
5.7.1	非饱和土固结的一些特点	349
5.7.2	弗雷德隆德非饱和土单向固结理论	350
5.8	固结试验	355
5.8.1	几种固结试验方法	355
5.8.2	恒应变速率试验法(CRS法)	356
5.8.3	控制孔压梯度压缩试验法(CGC法)	358
	习题与思考题	361
	部分习题答案	367
	参考文献	368
第6章	土坡稳定分析	369
6.1	概述	369
6.1.1	边坡	369
6.1.2	边坡的破坏类型	369
6.1.3	滑坡的影响因素	371
6.1.4	滑坡的危害	372

6.1.5	边坡稳定的分析	373
6.2	无限土坡的稳定分析	374
6.2.1	砂土的无限土坡	374
6.2.2	黏性土的无限土坡	376
6.3	边坡稳定分析的极限平衡条分法	377
6.3.1	瑞典条分法	378
6.3.2	简化毕肖甫法	380
6.3.3	简布法	381
6.3.4	斯宾塞法	382
6.3.5	摩根斯坦-普莱斯法	383
6.3.6	陈祖煜的通用条分法	385
6.3.7	不平衡推力传递法	388
6.3.8	沙尔玛法	393
6.3.9	边坡合理性条件和经典的结论	394
6.4	最小安全系数和临界滑动面的搜索方法	396
6.4.1	基本原理	396
6.4.2	枚举法	397
6.4.3	单形法	397
6.4.4	牛顿法	399
6.4.5	随机搜索法	400
6.4.6	模拟退火法	400
6.4.7	遗传算法	402
6.4.8	蚁群算法	405
6.4.9	其他搜索方法	407
6.5	关于边坡稳定极限平衡法分析的一些问题	409
6.5.1	计算工况	409
6.5.2	稳定分析方法的选择	411
6.5.3	孔隙水压力的考虑	412
6.5.4	边坡外有水的情况	413
6.5.5	强度指标的选用	415
6.6	极限分析原理	418
6.6.1	塑性力学的上、下限定理	419
6.6.2	上下限定理的应用	420
6.7	基于有限元的边坡稳定分析	427
6.7.1	利用应力场计算安全系数	428
6.7.2	强度折减法	429
	习题与思考题	430
	部分习题答案	436
	参考文献	436