

高等工科院校自学函授教材

土力学与基础工程

蔡伟铭 胡中雄 编



中国建筑工业出版社

高等工科院校自学函授教材

土力学与基础工程

蔡伟铭 胡中雄 编

中国建筑工业出版社

土力学与基础工程是土建类函授专业的一门专业基础课程,本书根据该专业的教学大纲编写而成,也可以作为土建类夜大学的教科书或自学参考书。

本书内容可分成两大部分。第一部分(第一至七章)主要介绍了土力学的有关知识,如土的物理性质及工程分类、土中应力、地基变形计算、土的抗剪强度及强度指标、土压力计算、边坡稳定分析、地基的承载力。第二部分(第八至十三章)主要介绍了基础工程的内容,如工程地质勘察、天然地基浅基础的设计、基础结构的设计与计算、桩基础、地基处理、地震区的地基问题。

本书除可作为大学土建类专业函授、自学教材外,亦可供土建勘察、设计、施工技术人员学习参考。

高等工科院校自学函授教材

土力学与基础工程

蔡伟铭 胡中雄 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 25³/₄ 字数: 624千字

1991年9月第一版 1991年9月第一次印刷

印数: 1—4,170册 定价: 15.70元

ISBN7—112—01253—8/TU·910

(6302)

序

土力学与基础工程是土建类函授专业的一门专业基础课程，本书根据该专业的教学大纲编写而成，也可以作为土建类夜大学的教科书或自学参考书，对于从事土建实际工作的勘察、设计和施工人员，也不失为一本很好的参考书。

这本教科书具有以下特点：

系统性 以土体的强度理论、变形理论和渗流理论来贯穿全书。既反映古典土力学的成就，又介绍了这门学科的近代发展。

实用性 本书前几章中介绍土力学的基本原理，使读者能够掌握土工试验、土体的变形、强度和稳定性的基本运算和分析；后面几章则讨论了浅基础和深基础的规划和设计，地基加固技术及其最新发展，使读者具有解决工程实际问题的能力。

实践性 本书尽量反映我国近年来的工程实践经验和工程实录，以培养读者根据建筑物特点和当地的工程地质条件来考虑和分析地基基础的设计和施工问题。

可读性 由于函授专业的读者常在远离教师直接指导的情况下进行自学，故对基本原理的讲述力求深入浅出，层次明晰，分析透彻。各章均列有若干例题，帮助读者更好地掌握土力学与基础工程的基本原理。针对函授教学的特点，本书每章中还撰写了学习指南、思考题和习题，以便学者掌握各个章节的重点，做到理论联系实际。

本书集中反映了作者及其同事们三十年来的教学和科研成果，也是多年来工程实践活动的经验总结，故乐而为之序。

同济大学 朱百里

前 言

本教材根据工业与民用建筑专业函授教育的教学大纲编写而成，也可作为函授大学其他土建类专业、业余大学的土力学与基础工程课程的教材。根据函授教学的特点，本书内容力求理论联系实际，文字尽量简明扼要，通俗易懂，便于自学。在每一章末尾均增加学习辅导材料和思考作业题；学习期中有一次测验作业题，以便于学者自检。

从内容和体系上讲，本书可分成两大部分：第一部分是土力学（1~7章），第二部分是基础工程（8~13章）。考虑到学生遍布全国各地，对于不同地区的不同土质条件，应有不同的要求。各地面授老师可结合本地区土质特点和处理经验，讲授第12和13章的内容。教学环节有理论教学、习题和试验。有条件时还可就地组织参观勘探、基础工程和地基处理施工现场。

本书把《建筑地基基础设计规范》（GBJ7—89）的基本内容融合于有关的章节中，并沿用新规范的名词、术语和单位制，我们还将主要符号和国际单位制换算表格列于本教材中，供学习时参考。

本书由同济大学土力学与基础工程教研室蔡伟铭主编，朱百里教授审定。第1~7章由胡中雄编写，第8~13章由蔡伟铭编写。

主 要 符 号 表

A ——基础底面面积	K_0 ——侧压力系数, 静止土压力系数
a ——压缩系数	K_a ——主动土压力系数
A, B ——孔隙水压力参数	K_p ——被动土压力系数
b ——基础底面宽度	K_u ——不均匀系数
C_f ——附加应力面积系数	k ——渗透系数
c ——粘聚力	L ——基础底面长度
C_c ——压缩指数	M ——弯矩、力矩
C_H ——水平向固结系数	m ——地基的水平抗力系数
C_v ——竖向向固结系数	N_{10} ——轻便触探试验锤击数
D ——基础埋置深度	$N_{53.5}$ ——标准贯入试验锤击数
D_r ——相对密实度	N_C, N_D, N_B ——地基承载力系数
d_s ——土粒相对密度(比重)	N_d ——按地基规范确定的单桩竖向承载力设计值
d_{fr} ——基底下允许残留冻土层厚度	n ——孔隙率
d_{10} ——有效粒径	P ——外荷载
d_{60} ——限定粒径	p_0 ——基底平均附加压力
E ——变形模量	$p_{1.4}$ ——地基塑性荷载
E_a ——主动土压力	p_{cr} ——地基临塑荷载
E_p ——被动土压力	p_u ——地基的极限承载力
E_{sc} ——压缩模量	Q ——水平力; 竖向荷载时桩基中单桩所承受的竖力
e ——孔隙比, 自然对数的底	q ——均布荷载
F ——基础底面竖向荷载	q_c ——双桥探头锥头阻力
f ——地基承载力设计值	q_p ——桩端土的承载力设计值
f_0 ——地基承载力基本值	q_s ——桩周土的摩擦力设计值
f_k ——地基承载力标准值	q_u ——无侧限抗压强度
f_r ——岩石饱和单轴抗压强度	R ——单桩竖向承载力设计值
G ——基础及台阶以上覆土重量	s ——沉降量
G_D ——动水力	S_r ——饱和度
H ——基础高度	T ——水平力
h ——土层厚度, 水头高度	T_v ——竖向固结时间因子
I ——截面惯性矩	T_H ——水平向固结时间因子
I_L ——液性指数	t ——时间
I_P ——塑性指数	U ——固结度
i ——水力梯度	U_v ——竖向排水固结度
i_{cr} ——临界水力梯度	U_r ——径向排水固结度
K ——安全系数, 附加应力系数	u ——超孔隙水压力
K_h ——抗滑稳定安全系数	
K_q ——抗倾覆安全系数	

W ——重量, 截面抵抗矩	μ ——泊松比, 土对挡土墙基底的摩擦系数
w ——含水量	φ ——土的内摩擦角
w_{op} ——最优含水量	ξ ——群桩沉降比
w_L ——液限含水量	η ——群桩效率系数
w_P ——塑限含水量	η_b ——基础宽度的承载力修正系数
x_0 ——标准冻深	η_d ——基础埋深的承载力修正系数
Z ——深度	ψ_s ——沉降计算修正系数
Z_h ——地基沉降计算深度	ψ_f ——采暖对冻深的影响系数
α ——边坡坡角, 挡土墙墙背倾斜角, 桩的变形系数	λ ——地基梁的柔度特征值
β ——填土表面坡角	σ ——总应力, 法向应力
γ ——土的重力密度, 简称土的重度 (容重)	σ_1, σ_3 ——大小主应力
γ_d ——干重度	σ_c ——自重应力
γ_P ——土的加权平均重度	σ_z ——土中竖向附加应力
γ_w ——水的容重	$\bar{\sigma}$ ——有效应力
γ_{sat} ——饱和重度	τ ——剪应力
γ_0 ——浮重度	τ_f ——土的抗剪强度
δ ——土对挡土墙背的摩擦角	α ——沉降影响系数
θ ——地基的压力扩散角	ρ_w ——水的密度

国际单位制换算表

国际单位制简称国际制，代号为SI。国际制的基本单位有七种，见表1。

基本单位表 1

量的名称	单位名称	单位代号	
		国际	中文
长度	米	m	米
质量	千克(公斤)	kg	千克(公斤)
时间	秒	s	秒
电流	安培	A	安
热力学温度	开尔文	K	开
物质的量	摩尔	mol	摩
光强度	坎德拉	cd	坎

国际制的辅助单位有二种，见表2。

辅助单位表 2

量的名称	单位名称	单位代号	
		国际	中文
平面角	弧度	rad	弧度
立体角	球面度	sr	球面度

国际制的导出单位很多，与土力学及基础工程关系密切的工程单位分别见表3和表4。

空间和时间的国际制单位表 3

量的名称	单位名称	单位代号	
		国际	中文
面积	平方米	m ²	米 ²
体积	立方米	m ³	米 ³
速度	米每秒	m/s	米/秒
加速度	米每秒平方	m/s ²	米/秒 ²
密度	千克每立方米	kg/m ³	千克/米 ³

力学的国际制单位

表 4

量的名称	单位名称	单位代号		用基本单位表示
		国际	中文	
频率	赫 芝	Hz	赫	s^{-1}
密度	千克每立方米	kg/m^3	千克/米 ³	$m^{-3} \cdot kg$
力	牛 顿	N	牛	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
压力(应力)	帕 斯 卡	$Pa(N/m^2)$	帕	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能、功	焦 耳	$J(N \cdot m)$	焦	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
力 矩	牛 顿 米	$N \cdot m$	牛·米	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面张力	牛顿每米	N/m	牛/米	$kg \cdot s^{-2}$

土力学及基础工程中常用的一些物理量的换算关系见表 5。

国际制与公制的换算

表 5

量	公 制	国 际 制	
		准 确 换 算	近 似 换 算
容 重	$2t/m^3$	$19.6kN/m^3$	$20kN/m^3$
模 量	$100kg/cm^2$	$9810kN/m^2$	$10000kN/m^2$
		$9.81MN/m^2$	$10MN/m^2$
土的抗力系数	$1kg/cm^3$	$9810kN/m^3$	$10000kN/m^3$
		$9.81MN/m^3$	$10MN/m^3$
压缩系数	$0.05cm^2/kg$	$0.0005m^2/kN$	$0.0005m^2/kN$
		$0.51m^2/MN$	$0.5m^2/MN$
承载力	$10t/m^2$	$98.1kN/m^2$	$100kN/m^2$

国际制与公制、英制之间的换算关系分别见表 6 ~ 表12。

长 度 换 算

表 6

米 (m)	厘 米 (cm)	毫 米 (mm)	英 寸 (in)	英 尺 (ft)
1	100	1000	39.4	3.28
0.01	1	10	0.394	0.0328
0.001	0.1	1	0.0394	0.00328
0.0254	2.54	25.4	1	0.0833
0.3048	30.48	304.8	12	1

面 积 换 算

表 7

平方厘米(cm^2)	平方米(m^2)	平方英寸(in^2)	平方英尺(ft^2)
1	10^{-4}	0.155	10.764×10^{-4}
10^4	1	1550	10.764
6.45	6.45×10^{-4}	1	6.94×10^{-3}
929	0.0929	144	1

体 积 换 算

表 8

立方米(m³)	升(l)	毫 升 (ml)	英加仑(gal)	美加仑(gal)
1	10³	10⁶	220	264
10⁻³	1	10³	0.22	0.264
10⁻⁶	10⁻³	1	0.22 × 10⁻³	0.264 × 10⁻³
4.546 × 10⁻³	4.546	4.546 × 10³	1	1.201
3.785 × 10⁻³	3.785	3.785 × 10³	0.833	1

质 量 换 算

表 9

千克(公斤)(kg)	吨(ton)	磅(lb)	英吨(long t)	美吨(short t)
1	10⁻³	2.205	0.984 × 10⁻³	1.102 × 10⁻³
10³	1	2205	0.984	1.102
0.454	0.454 × 10⁻³	1	0.446 × 10⁻³	0.500 × 10⁻³
1016	1.016	2240	1	1.120
907.2	0.907	2000	0.893	1

力 换 算

表 10

公斤力(kgf)	吨(ton)	达因(dyn)	牛顿(N)	千牛顿(kN)
1	10⁻³	9.81 × 10⁵	9.81	9.81 × 10⁻⁵
10³	1	9.81 × 10⁸	9810	9.81
0.1019 × 10⁻³	0.1019 × 10⁻⁸	1	10⁻⁵	10⁻²
0.1016	0.1019 × 10⁻³	10⁵	1	10⁻³
101.9	0.1019	10³	10³	1

力 矩 换 算

表 11

公斤·厘米(kg·cm)	磅·英尺(lb·ft)	千磅·英尺(kip·ft)	牛顿·米(N·m)	吨·米(t·m)
1	0.07233	7.233 × 10⁻⁵	0.0981	10⁻⁵
13.83	1	10⁻³	1.356	13.85 × 10⁻³
13.83 × 10³	10³	1	1.356 × 10³	13.85 × 10⁻²
10.19	0.737	0.737 × 10⁻³	1	10.19 × 10⁻⁵
10⁵	7.233 × 10³	7.233	9.81 × 10³	1

目 录

主要符号表.....13

国际单位制换算表.....15

绪论 1

第一章 土的物理性质及工程分类 5

 1.1 概述 5

 1.2 土的生成 5

 1.2.1 地质作用 5

 1.2.2 地质年代 7

 1.2.3 地质构造与工程的关系 7

 1.3 土的成因类型 9

 1.4 土的组成11

 1.4.1 土的固体颗粒12

 1.4.2 土中的水和气14

 1.5 土的三相比例指标16

 1.5.1 三相指标的定义16

 1.5.2 三相指标的计算18

 1.6 无粘性土的物理特性20

 1.7 粘性土的物理特征21

 1.7.1 粘性土的界限含水量21

 1.7.2 粘性土的塑性指数和液性指数22

 1.8 土的压实性23

 1.8.1 击实试验23

 1.8.2 最大干重度和最佳含水量24

 1.9 土的渗透性25

 1.9.1 土的渗透定律25

 1.9.2 影响土渗透性的因素26

 1.9.3 动水力及流砂现象26

 1.10 土的工程分类.....27

 1.10.1 碎石土分类.....27

 1.10.2 砂土分类.....28

 1.10.3 粘性土分类.....28

 1.10.4 特殊土分类.....28

 1.11 本章学习指南.....30

 1.11.1 本章内容回顾.....30

 1.11.2 思考与练习.....31

第二章 土中应力32

2.1 概述32

2.2 自重应力计算32

2.3 基础底面的接触压力34

2.3.1 中心受压基础34

2.3.2 偏心受压基础35

2.3.3 基底附加应力计算36

2.4 土中附加应力计算36

2.4.1 竖向集中力下地基中附加应力计算公式36

2.4.2 分布荷载作用下地基附加应力计算39

2.5 附加应力计算实例47

2.5.1 基底附加应力计算47

2.5.2 土中附加应力计算47

2.5.3 大面积均布荷载下土中附加应力计算53

2.5.4 成层地基对附加应力分布的影响54

2.6 本章学习指南55

2.6.1 本章内容回顾55

2.6.2 思考与练习58

第三章 地基变形计算60

3.1 概述60

3.2 土的室内压缩试验61

3.2.1 室内压缩试验61

3.2.2 压缩试验的应力应变关系, 压缩系数和压缩模量62

3.3 地基最终沉降量计算64

3.3.1 分层总和法64

3.3.2 应力面积法66

3.3.3 考虑结构强度的沉降计算76

3.4 地基最终沉降量的弹性力学算法81

3.4.1 计算公式81

3.4.2 刚性基础在偏心荷载作用下的倾斜角计算84

3.4.3 关于沉降和倾斜计算公式应用的几个问题85

3.5 野外载荷试验、地基土的变形模量85

3.5.1 野外载荷试验的原理85

3.5.2 地基土的变形模量 E 86

3.5.3 土的变形模量和压缩模量的关系87

3.5.4 载荷试验分析实例88

3.5.5 关于沉降计算方法的几个理论问题89

3.5.6 从沉降观测资料推测最终沉降量90

3.6 饱和软土地基的沉降与时间关系91

3.6.1 饱和土固结理论基本概念92

3.6.2 单向固结微分方程式的建立94

3.6.3 单向固结微分方程式的解97

3.6.4 不同边界条件和初始孔隙水压力分布情况的固结度计算99

3.6.5 关于固结系数 C_v 的试验测定103

3.7 本章学习指南	105
3.7.1 本章内容回顾	105
3.7.2 思考与练习	108
第四章 土的抗剪强度及强度指标	111
4.1 概述	111
4.2 土的抗剪强度的基本概念	114
4.2.1 土的抗剪强度规律	114
4.2.2 土的应力—应变曲线及其灵敏度	117
4.2.3 关于直接剪切试验的几个问题	118
4.3 三轴剪力试验	119
4.3.1 三轴试验的基本原理	119
4.3.2 三轴仪的构造	119
4.3.3 三轴试验结果整理	120
4.4 饱和软土的孔压参数	123
4.5 无侧限和十字板强度试验	125
4.5.1 粘土类土的无侧限抗压强度试验	125
4.5.2 十字板强度试验	126
4.6 土的极限平衡理论	128
4.7 软土地基在荷载作用下强度的增长	131
4.8 本章学习指南	133
4.8.1 本章内容回顾	133
4.8.2 思考与练习	136
第五章 土压力计算	138
5.1 概述	138
5.2 静止土压力	139
5.3 朗金土压力理论	140
5.3.1 主动土压力	140
5.3.2 被动土压力	142
5.4 库仑土压力理论	143
5.4.1 库仑土压力理论的基本概念	143
5.4.2 数解法计算主动土压力	144
5.4.3 数解法计算被动土压力	147
5.4.4 图解法确定主动土压力	148
5.4.5 墙后填土为粘性土的计算方法	149
5.5 特殊情况下的土压力计算	156
5.5.1 墙后填土表面上有均布荷载及局部荷载	156
5.5.2 墙后填土成层的情况	158
5.5.3 墙后填土中有地下水时的计算	159
5.5.4 异形挡土墙的土压力分析	161
5.5.5 支撑结构物上的土压力计算	162
5.6 挡土墙设计原则	168
5.7 本章学习指南	172
5.7.1 本章内容回顾	172

5.7.2 思考与练习.....174

第六章 边坡稳定性分析.....177

6.1 概述.....177

6.2 无粘性土边坡稳定分析.....178

6.3 条分法分析边坡的稳定性.....178

6.4 精确解的毕肖普条分法.....182

6.5 均质粘性土边坡稳定分析.....185

6.6 边坡稳定分析中若干问题.....188

6.7 本章学习指南.....193

6.7.1 本章内容回顾.....193

6.7.2 思考与练习.....195

第七章 地基的承载力.....196

7.1 概述.....196

7.2 地基承载力的概念.....196

7.3 临塑荷载与临界荷载.....198

7.3.1 地基中剪应力的计算.....198

7.3.2 临塑和临界荷载公式的建立.....198

7.4 极限荷载.....203

7.4.1 粘性土 ($\varphi = 0^\circ$) 的极限荷载公式.....203

7.4.2 一般条件下的极限荷载公式 ($\varphi \geq 0^\circ, c \geq 0$).....204

7.5 几种常用的极限荷载公式.....207

7.5.1 普朗特-雷斯诺极限荷载公式.....207

7.5.2 太沙基公式.....210

7.5.3 关于极限荷载公式的几个问题的讨论.....212

7.6 本章学习指南.....214

7.6.1 本章内容回顾.....214

7.6.2 思考与练习.....216

测验作业题.....218

第八章 工程地质勘察.....221

8.1 概述.....221

8.2 工程地质勘察的内容.....222

8.2.1 选择场址勘察.....222

8.2.2 初步勘察.....222

8.2.3 详细勘察.....223

8.3 工程地质勘探方法.....224

8.3.1 坑探.....224

8.3.2 钻探.....224

8.3.3 触探.....225

8.4 测试工作.....228

8.4.1 室内试验.....228

8.4.2 地基载荷试验.....229

8.4.3 十字板剪切试验.....230

8.5 勘察报告的分析与应用	230
8.5.1 勘察报告书的内容	231
8.5.2 勘察报告的实例及应用	231
8.5.3 勘察报告的分析 and 阅读要点	234
8.6 本章学习指南	234
8.6.1 本章内容回顾	235
8.6.2 思考与练习	235
第九章 天然地基浅基础的设计	236
9.1 概述	236
9.2 浅基础的类型	238
9.3 基础埋置深度的选择	242
9.4 地基承载力的确定	246
9.4.1 按《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)确定地基承载力	246
9.4.2 按强度理论公式计算	253
9.5 基础底面尺寸的确定	254
9.5.1 按持力层的承载力设计值计算	254
9.5.2 软弱下卧层强度验算	257
9.5.3 地基变形验算	259
9.5.4 稳定计算	261
9.6 地基、基础和上部结构共同工作的概念	262
9.6.1 地基、基础和上部结构的相互影响	262
9.6.2 减轻不均匀沉降危害的措施	264
9.7 本章学习指南	269
9.7.1 本章内容回顾	269
9.7.2 思考与练习	270
第十章 基础结构的设计与计算	272
10.1 概述	272
10.2 扩展式基础	272
10.2.1 墙下条形基础	273
10.2.2 杯形基础	274
10.3 柱下条形基础	279
10.3.1 柱下条形基础的构造要求	279
10.3.2 基底反力的分布和地基计算模型	280
10.3.3 柱下条形基础的简化计算方法——倒梁法	284
10.3.4 文克勒地基上梁的解析法	290
10.3.5 基础梁的有限差分解法	297
10.4 十字交叉条形基础	304
10.5 片筏基础和箱形基础计算方法简介	307
10.5.1 片筏基础	307
10.5.2 箱形基础	308
10.6 本章学习指南	309
10.6.1 本章内容回顾	309
10.6.2 思考与练习	310

第十一章 桩基础 312

11.1 概述 312

11.2 桩的分类 313

11.2.1 按桩的受力分类 313

11.2.2 按施工方法分类 313

11.3 桩基受力特性 315

11.3.1 单桩破坏模式 315

11.3.2 单桩轴向荷载的传递 316

11.3.3 桩基承载力的深度效应 317

11.3.4 软粘土中摩擦桩承载力的增长 318

11.3.5 负摩擦力 319

11.3.6 群桩效应 320

11.4 桩基承载力的确定 322

11.4.1 单桩轴向承载力 322

11.4.2 群桩承载力 326

11.5 桩基础设计 328

11.5.1 桩基设计的一般规定 328

11.5.2 桩基础设计步骤 328

11.6 桩的水平承载力 335

11.6.1 水平承载力的确定 335

11.6.2 水平静载荷试验 336

11.6.3 理论计算 338

11.7 本章学习指南 342

11.7.1 本章内容回顾 342

11.7.2 思考与练习 342

第十二章 地基处理 345

12.1 概述 345

12.2 软弱土的特性和地基处理的方法 345

12.2.1 软土和不良土的特性 345

12.2.2 地基处理方法及分类 346

12.3 换土垫层法 348

12.3.1 砂垫层的设计 348

12.3.2 砂垫层施工要点 349

12.4 夯实法 350

12.4.1 重锤夯实 351

12.4.2 强夯法 351

12.5 挤密砂（碎石）桩 354

12.5.1 挤密砂桩 354

12.5.2 振冲桩 358

12.6 排水固结法 359

12.6.1 砂井地基固结理论 361

12.6.2 地基固结度的修正 364

12.6.3 地基强度的增长 366

12.6.4 砂井堆载预压的设计..... 367

12.6.5 现场观测..... 370

12.6.6 其他预压法..... 371

12.7 化学加固法..... 372

12.7.1 灌浆法..... 372

12.7.2 高压喷射注浆法..... 374

12.7.3 深层搅拌法..... 376

12.8 本章学习指南..... 380

12.8.1 本章内容回顾..... 380

12.8.2 思考与练习..... 381

第十三章 地震区地基问题 382

13.1 概述..... 382

13.2 场地和地基对震害的影响..... 385

13.2.1 场地和地质条件对震害的影响..... 385

13.2.2 地基土质对震害的影响..... 387

13.3 强震区地基基础的设计原则..... 391

13.3.1 抗震措施..... 391

13.3.2 地基基础抗震强度验算..... 392

13.4 本章学习指南..... 394

13.4.1 本章内容回顾..... 394

13.4.2 思考与练习..... 394