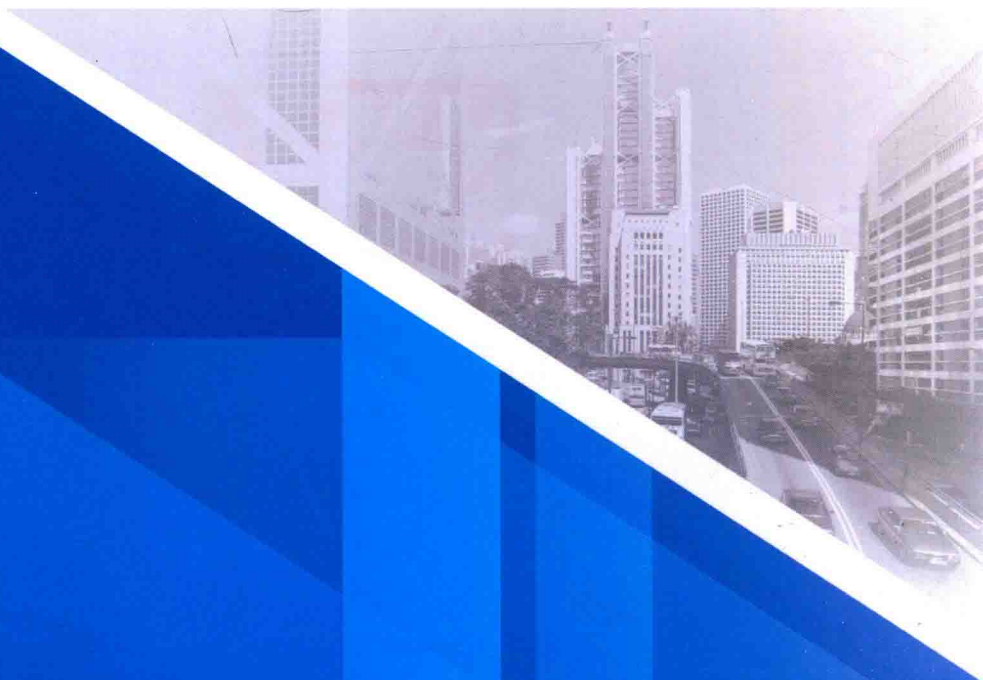




普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材

土力学基本原理及应用

刘洋 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材

土力学基本原理及应用

刘洋 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书主要讲述土的基本力学性质及工程应用,全书分为上下两篇,上篇主要讲述土的基本物理力学性质,涉及土的形成和三相组成、基本物理性质、微观组构及测量以及土中的应力、变形、强度和简单的应力-应变关系,并讲述了现代土力学中关于临界状态的基本概念。下篇主要讲述了土的基本力学性质在工程中的应用,涉及地基的沉降变形与计算、土工构筑物上的土压力计算、地基承载力及计算理论,以及地基与土坡稳定性分析等。

本书显著特点就是在讲述土的基本性质方面,不仅描述了土唯象的宏观力学特点,而且着眼于这些力学特点背后的微观结构特征与机理分析。本书可作为高等学校土木工程各专业及相近专业土力学课程教材或者参考书,也可供土木工程研究生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学基本原理及应用 / 刘洋编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 8
普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4725-4

I. ①土… II. ①刘… 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220317号

书 名	普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材 土力学基本原理及应用 TULIXUE JIBEN YUANLI JI YINGYONG
作 者	刘洋 编著
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
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 26.5印张 611千字
版 次	2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	58.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

土是一种矿物颗粒集合体，它是地质作用的产物，其突出的特征是土材料的分散性、三相性与各向异性。土力学是研究土的基本性质，并将其研究应用到与工程建设有关的土的变形、强度和稳定性等问题，因此土力学也是一门理论性和实践性都很强的学科。

本书主要讲述土的基本力学性质及工程应用，全书分为上下两篇，上篇主要讲述土的基本物理力学性质，涉及土的形成和三相组成、基本物理性质、微细观组构及测量以及土中的应力、变形、强度和简单的应力-应变关系，并讲述了现代土力学中关于临界状态的基本概念。下篇主要讲述了土的基本力学性质在工程中的应用，涉及地基的沉降变形与计算、土工构筑物上的土压力计算、地基承载力及计算理论，以及地基与土坡稳定性分析等。

全书内容涵盖了经典土力学的全部知识以及现代土力学的一些知识要点。与一般土力学教材相比，本书的显著特点就是在讲述土的基本性质方面，不仅描述了土唯象的宏观力学特点，而且着眼于这些力学特点背后的微细观结构特征与机理分析，既秉承了经典土力学中基于连续介质力学的理论分析方法，也阐述了不连续介质力学方法在土力学研究中的应用，同时探讨了土的微细观结构与基本力学性质之间的内在联系。

本书可作为高等学校土木工程各专业及相近专业土力学课程教材或者参考书，也可供土木工程研究生和工程技术人员参考。

本书的编写和出版得到了北京科技大学“十二五”规划教材建设的资助，在此表示感谢。感谢研究生李爽、魏华超、王忠杰和于鹏强等在排版、绘图和习题编写等方面的辛苦工作。

由于编著者水平有限，以及客观条件和时间精力等方面的限制，书中缺点和错误在所难免，希望广大读者不吝赐教。

刘洋

2016年8月

前言

上篇 土的基本物理力学性质

绪论	3
0.1 什么是土	3
0.2 什么是土力学	3
0.3 土力学性质的基本特点	4
0.4 土力学的发展历史	4
0.5 土的宏观力学与微细观结构的内在联系	6
0.6 本书讲述的土力学基本内容	7
0.7 如何学好土力学	7
第1章 土的形成	9
1.1 概述	9
1.2 地壳运动和地质循环	9
1.2.1 地壳运动	9
1.2.2 地质循环	10
1.2.3 岩石与矿物稳定性	11
1.3 风化作用	11
1.3.1 物理风化	11
1.3.2 化学风化	12
1.3.3 生物风化	14
1.4 风化产物	14
1.4.1 风化产物分类	14
1.4.2 黏土矿物	15
1.5 侵蚀、搬运与沉积	15

原书缺页

第 3 章 土的微细观组构及测量	64
3.1 概述	64
3.2 土组构与结构的定义	65
3.3 土组构的多尺度定义	65
3.3.1 基本单元体	65
3.3.2 组构单元	67
3.3.3 组构的多尺度定义	68
3.4 单粒组构	68
3.4.1 均匀粒径排列组构	69
3.4.2 粗粒土多尺度颗粒组构	70
3.4.3 单粒组构的描述方法	70
3.5 多粒组构	72
3.6 土颗粒的接触力	73
3.7 土体中的孔隙尺寸及分布	74
3.8 组构测量分析方法	76
3.8.1 组构观测试验的试样制备	76
3.8.2 组构研究的直接法	78
3.8.3 组构研究的间接法	81
3.9 土体中孔隙的测量分析方法	83
3.10 组构的数学描述——组构张量	85
3.11 本章小结	85
思考题	85
第 4 章 土的传导与渗透特性	87
4.1 概述	87
4.2 土中的传导现象	87
4.3 土的渗透性	88
4.4 与渗流有关的几个基本概念	89
4.5 土的渗透定律	90
4.5.1 渗透试验与达西定律	90
4.5.2 渗透系数的确定方法	92
4.5.3 渗透系数的影响因素	95
4.6 达西定律的验证与分析	96
4.7 土体组构对渗流的影响	98
4.8 土体渗透各向异性	100
4.9 本章小结	100
思考题	101
习题	101
第 5 章 有效应力原理	102
5.1 概述	102
5.2 土中的固相颗粒受力分析	102

5.2.1	颗粒体系的受力特性	102
5.2.2	颗粒体系的受力分布	103
5.2.3	粒间力的微观观组成	104
5.3	土中的水压力	106
5.3.1	土中的水压力和势能	106
5.3.2	饱和土体中的水压力平衡	107
5.4	粒间应力	108
5.5	太沙基有效应力原理	111
5.6	非饱和土体的有效应力	113
5.6.1	非饱和土体的有效应力公式	113
5.6.2	非饱和土体的孔隙压力系数	113
5.7	自重条件下土体的有效应力计算	116
5.7.1	静水条件	116
5.7.2	渗流条件	117
5.8	关于太沙基有效应力原理的讨论	118
5.9	本章小结	120
	思考题	121
第6章	土的变形	122
6.1	概述	122
6.2	土的变形特征	123
6.2.1	非线性	123
6.2.2	压硬性	124
6.2.3	弹塑性	124
6.2.4	剪胀性	125
6.2.5	结构性	125
6.2.6	各向异性	127
6.2.7	流变性	128
6.2.8	应力历史和应力路径的依赖性	129
6.3	土的剪切变形	130
6.4	土的压缩变形	130
6.4.1	概述	130
6.4.2	土的压缩特性	130
6.4.3	土的压缩指标	132
6.4.4	影响土压缩性的主要因素	136
6.5	土的剪胀	142
6.5.1	概述	142
6.5.2	Taylor 剪胀角与应力-剪胀关系	143
6.5.3	Rowe 应力-剪胀关系	146
6.5.4	剑桥模型的应力-剪胀关系	149
6.6	本章小结	149

思考题	150
第7章 土的强度	151
7.1 概述	151
7.2 摩擦作用	153
7.2.1 颗粒间的滑动摩擦作用	153
7.2.2 颗粒间的咬合摩擦作用	156
7.3 黏聚作用	158
7.4 莫尔-库仑强度理论	158
7.4.1 土的屈服、破坏与强度	158
7.4.2 莫尔-库仑强度准则	159
7.4.3 土中一点应力的极限平衡条件	161
7.5 土抗剪强度的测定	165
7.5.1 概述	165
7.5.2 直接剪切试验	166
7.5.3 三轴压缩试验	168
7.5.4 无侧限抗压强度试验	171
7.5.5 十字板剪切试验	172
7.6 土的应力路径与破坏主应力线	174
7.6.1 应力路径概念	174
7.6.2 k_0 线、 τ_f 线和 k_f 线	175
7.7 土的抗剪强度指标	177
7.7.1 剪切试验强度指标与应用	177
7.7.2 非饱和土的有效应力强度指标	179
7.8 砂土的剪切特性与抗剪强度	181
7.8.1 砂土的抗剪强度机理	181
7.8.2 砂土在排水与不排水条件下的剪切特性	182
7.8.3 临界孔隙比	183
7.8.4 砂土的强度特性	183
7.9 黏土的剪切特性与抗剪强度	185
7.9.1 黏土的抗剪强度机理	185
7.9.2 黏土在排水和不排水条件下的剪切特性	186
7.9.3 真强度理论	187
7.9.4 黏土的强度特性	188
7.10 残余强度与残余状态	190
7.11 土的组构与强度	191
7.11.1 砂土的组构与强度	191
7.11.2 黏土的组构与强度	194
7.12 中主应力及主应力方向对土强度的影响	194
7.12.1 中主应力对土强度的影响	194
7.12.2 主应力方向对土强度的影响——土强度的各向异性	195

7.13 本章小结	198
思考题	198
习题	199
第8章 土的临界状态	201
8.1 概述	201
8.2 临界状态与临界状态线	202
8.2.1 临界状态的概念	202
8.2.2 正常固结线与临界状态线	202
8.3 Roscoe 面	205
8.3.1 Roscoe 空间中的排水与不排水路径	205
8.3.2 Roscoe 面	206
8.4 Hvorslev 面	207
8.4.1 超固结土的破坏线	207
8.4.2 Hvorslev 面	208
8.5 根据 CSL 线划分干、湿区域	209
8.6 完全的状态边界面	210
8.7 黏土的临界状态	211
8.8 砂土的临界状态	215
8.8.1 砂土的临界孔隙比	215
8.8.2 砂土的稳态变形	219
8.9 本章小结	219
思考题	220
第9章 土的动力特性	221
9.1 概述	221
9.2 土的动强度	221
9.2.1 动荷载的分类	221
9.2.2 土的动强度特性	223
9.3 土的动变形	230
9.3.1 土的动变形特性	230
9.3.2 土的波动变形与残余变形	231
9.3.3 土的振密变形与动力蠕变变形	231
9.4 土的动孔压与砂土液化	231
9.4.1 土的动孔压	231
9.4.2 砂土液化	233
9.5 土的阻尼特性	235
9.6 本章小结	236
思考题	237

下篇 土力学原理的工程应用

第10章 土的分类与压实性	241
10.1 概述	241

10.2	土的分类	241
10.2.1	土的分类原则	241
10.2.2	《土的分类标准》	242
10.2.3	《建筑地基基础设计规范》	245
10.3	土的压实性	248
10.3.1	细粒土的压实性	248
10.3.2	粗粒土的压实性	250
10.4	本章小结	250
	思考题	251
	习题	251
第 11 章	地基中的应力计算	253
11.1	概述	253
11.2	地基的自重应力计算	254
11.2.1	竖向自重应力 σ_{cz}	254
11.2.2	水平向自重应力 σ_{cx} 、 σ_{cy}	255
11.2.3	地下水对土中自重应力的影响	256
11.3	基底压力的分布及计算	257
11.3.1	基底压力的分布规律	257
11.3.2	基底压力的简化计算	258
11.3.3	基底附加压力	260
11.4	地基中的附加应力计算	261
11.4.1	集中荷载作用下的附加应力计算	262
11.4.2	分布荷载作用下的附加应力计算	265
11.5	本章小结	276
	思考题	277
	习题	277
第 12 章	土的渗透变形与控制	279
12.1	概述	279
12.2	层状地基的等效渗透系数	280
12.3	二维渗流与流网	281
12.3.1	平面渗流基本微分方程	282
12.3.2	流网的性质	283
12.3.3	流网的绘制	284
12.3.4	流网的应用	284
12.4	渗流破坏类型与条件	285
12.4.1	土的渗透变形(破坏)的类型	285
12.4.2	渗流力的概念及计算	286
12.4.3	土的渗透变形(破坏)的条件	288
12.4.4	土的渗透变形(破坏)的判别	289
12.5	土的渗透变形(破坏)的控制	290

12.6 渗流变形(破坏)控制在工程中的应用	290
12.6.1 基坑底部抗渗稳定性分析	290
12.6.2 土石坝修建过程中渗透变形分析	291
思考题	293
习题	294
第13章 地基的沉降计算与固结过程分析	295
13.1 概述	295
13.2 地基最终沉降量的计算	295
13.2.1 地基沉降过程	295
13.2.2 弹性理论计算公式	296
13.2.3 分层总和法	301
13.2.4 《建筑地基基础设计规范》法	304
13.2.5 应力历史法	310
13.2.6 次固结沉降	312
13.3 土的固结理论	313
13.3.1 太沙基一维固结理论	313
13.3.2 Terzaghi-Rendulic 固结理论(扩散方程)	324
13.3.3 Biot 固结理论	325
13.4 本章小结	328
思考题	328
习题	329
第14章 土工构筑物上的土压力	330
14.1 概述	330
14.2 土压力分类与相互关系	330
14.2.1 土压力分类	330
14.2.2 3种土压力的相互关系	331
14.3 静止土压力计算	332
14.3.1 墙背竖直时的静止土压力计算	332
14.3.2 墙背倾斜时的静止土压力计算	334
14.4 朗肯土压力理论	335
14.4.1 基本原理	335
14.4.2 朗肯主动土压力计算	336
14.4.3 朗肯被动土压力计算	338
14.4.4 几种情况下朗肯土压力的计算	340
14.5 库仑土压力理论	344
14.5.1 基本原理	344
14.5.2 库仑主动土压力计算	344
14.5.3 库仑被动土压力计算	347
14.5.4 几种情况下库仑土压力的计算	348
14.6 朗肯土压力理论与库仑土压力理论的讨论	350

14.6.1	朗肯理论和库仑理论的比较	350
14.6.2	朗肯理论和库仑理论的计算误差	351
14.6.3	计算土压力与实际土压力分布的差异	352
14.7	填埋式管涵上的土压力	353
14.7.1	填埋式管涵上土压力的特点	353
14.7.2	沟埋式涵管上的土压力计算	354
14.7.3	上埋式涵管上的土压力计算	355
14.7.4	结构物顶部土压力的减荷措施	356
14.8	本章小结	356
	思考题	356
	习题	357
第 15 章	地基承载力	358
15.1	概述	358
15.2	地基破坏模式	358
15.2.1	地基破坏的 3 种模式	358
15.2.2	整体剪切破坏的 3 个阶段	359
15.2.3	破坏模式的判别因素	360
15.3	地基的临塑荷载和临界荷载	361
15.3.1	地基临塑荷载	361
15.3.2	地基临界荷载	363
15.4	地基极限承载力的计算	364
15.4.1	普朗特地基极限承载力公式	365
15.4.2	斯肯普顿地基极限承载力公式	367
15.4.3	太沙基地基极限承载力公式	367
15.4.4	魏锡克地基极限承载力公式	369
15.4.5	汉森地基极限承载力公式	371
15.5	地基承载力的确定	373
15.5.1	原位测试方法确定地基承载力	373
15.5.2	按规范确定地基承载力	375
15.6	本章小结	377
	思考题	377
	习题	377
第 16 章	地基与土坡稳定性分析	379
16.1	概述	379
16.2	无黏性土坡的稳定性分析	380
16.2.1	简单无黏性土土坡	380
16.2.2	有渗流作用时的无黏性土坡	381
16.3	黏性土坡的稳定性	382
16.4	黏性土坡的稳定性分析——整体圆弧滑动分析	383
16.5	黏性土坡的稳定性分析——条分法	384

16.5.1	条分法基本原理	384
16.5.2	瑞典条分法	386
16.5.3	毕肖甫条分法	388
16.5.4	简单土坡最危险滑动面的确定方法(4.5H法)	390
16.6	黏性土坡稳定性分析——任意形状滑动面	393
16.6.1	江布的普遍条分法	394
16.6.2	不平衡推力传递法	396
16.7	黏性土坡稳定性分析——图解法	397
16.8	地基稳定性分析	399
16.9	影响土坡稳定性的因素	401
16.10	稳定性分析中存在的问题	402
16.10.1	总应力法和有效应力法	402
16.10.2	土的抗剪强度取值	402
16.10.3	容许安全系数的取值	402
16.11	本章小结	403
	思考题	403
	习题	403
	习题答案	404
	参考文献	407

上篇

土的基本物理
力学性质

0.1 什么是土

土是地球上最丰富的资源。土的成因多，用途多。什么是土？土是指地球表面各类岩体风化后经搬运、沉积等地质作用，在极为漫长的历史过程中形成的岩石碎屑和土颗粒组成的松散颗粒集合体。岩石成分和风化类型的不同，直接导致土体成分的差异，搬运和沉积过程中的自然条件和各种随机因素的作用，致使土体具有不同的结构和构造。从母岩到形成土，经历了很长的地质年代，期间的风化、搬运和沉积作用是交错进行的，并且每一过程都会对土的性质产生影响。土体是由一定的材料组成，具有一定的结构，赋存于一定地质环境中的地质体，作为一种松散介质，土体具有不同于一般理想刚体和连续固体的特性—碎散性、多相性和各向异性。土中土颗粒间的胶结强度远小于颗粒本身的强度，有的甚至没有联结，颗粒间具有孔隙，孔隙中通常有水或空气。土一般为三相系，即由土颗粒、水和空气所组成。当土体处于饱水状态或干燥状态时，则为二相系，即仅有土颗粒和水或土颗粒和空气。土的成因将在第1章中详细介绍。

工程上的土可分为一般土和特殊土。一般土广泛分布于地表各处，根据其有机质含量的不同又可分为无机土和有机土两类。根据其组成颗粒含量的不同，又可分为碎石类土、砂类土、粉质土和黏性土四大类。根据其颗粒间胶结程度又可分为黏性土和无黏性土。特殊土常见的有遇水发生沉陷的湿陷性土（如湿陷性黄土）、湿胀干缩的膨胀土以及冻土等。

0.2 什么是土力学

土力学是工程力学的一个分支，是利用力学的基本原理研究土的物理性质和土中的应力分布、变形和强度、渗流、稳定性以及其随时间的变化规律的学科。

土力学的三个核心理论包括渗透理论、变形理论和强度理论，图0.1所示为由于土的渗流、变形和强度问题所引起的工程事故。渗透理论研究水在土中的流动规律、水流动时对土中应力和土体稳定性的影响等，揭示水在土中渗流速度与水力坡度的关系。土的变形理论研究土的形变特性、反映土变形的指标及测试方法以及变形过程的计算等，揭示土中应力与孔隙比变化的关系，这对预测建筑物的沉降具有重要意义。而土的强度理论研究土的抗剪强度规律、抗剪强度指标的测试和强度准则等，揭示土中应力与土强度的关系，这对验算建筑物的地基稳定性等问题有重要