

新土力学研究

俞茂宏 李建春 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

新土力学研究

俞茂宏 李建春 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

新土力学研究/俞茂宏,李建春著. —武汉:武汉大学出版社,2017.2
ISBN 978-7-307-18820-4

I. 新… II. ①俞… ②李… III. 土力学—研究 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 274928 号

责任编辑:方竞男 路亚妮 责任校对:杨赛君 装帧设计:吴 极

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 虎彩印艺股份有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 18 字数: 350 千字

版次: 2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-18820-4 定价: 98.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

作者简介

俞茂宏 祖籍浙江宁波,1934年11月出生于江苏省镇江市,西安交通大学教授,1951—1955年就读于浙江大学,毕业后历任交通大学助教,西安交通大学助教、讲师、副教授、教授;2005年退休后至今任机械结构强度与振动国家重点实验室特聘教授,长期从事材料强度理论和结构强度理论的研究工作。他提出的双剪力学模型、双剪理论、统一强度理论以及撰写的有关学术著作被国内外学者大量引用,并且每年在清华大学、浙江大学、同济大学、西安交通大学、西北工业大学、西南交通大学等学校的基础力学课程的教学中被一些老师所介绍,受到大学生和研究生的广泛欢迎,取得良好的社会效应。双剪统一强度理论已被写入《中国水利百科全书》(第二版)、《工程力学手册》、《土力学词典》、《力学史》、《材料力学》(39种)、《工程力学》(28种)、《塑性力学》等300多种专著和教材中,成为有关学科知识创新的一项重要内容。该理论也成为第一个被写入基础力学教科书的中国人的理论。他于2011年获得国家自然科学基金二等奖,2015年获得何梁何利基金数学力学奖。

俞茂宏在世界著名的科学出版社 Springer 出版的著作如下:

1. *Unified Strength Theory and Its Applications*
2. *Generalized Plasticity*
3. *Structural Plasticity: Limit, Shakedown and Dynamic Plastic Analyses of Structures*
4. *Computational Plasticity: with Emphasis on the Application of the Unified Strength Theory*

欧洲数学学会的《数学文摘》于2006年评价他的 *Unified Strength Theory and Its Applications* 著作是这一领域的重大贡献。他在 Springer 出版的这几本书受到世界各国读者的欢迎。据 Springer 出版集团统计,这几本书的电子版每年有一万章次以上的下载量,为该出版社下载量较多的著作之一。

李建春 女,浙江淳安人,1989—1993年就读于上海交通大学工程力学系,获得学士学位;1996—2001年就读于西安交通大学建筑工程与力学学院力学专业,获得工学博士学位;2006—2010年就读于新加坡南洋理工大学(NTU), Research Fellow;2009—2010年瑞士洛桑联邦理工大学(EPFL), Research Scientist; 2010年中国科学院“百人计划”入选者,在中国科学院武汉岩土力学研究所任研究员、博士生导师;2016年东南大学特聘教授。

长期从事岩石动力学方向的研究工作,在充填节理的动态力学特性、节理岩体的动态等效连续介质模型、应力波在非线性节理岩体中的二维传播分析方法三方面取得创新性成果,并将研究成果应用于隧道爆破导致的地表振动和临近洞室响

应特征分析。共发表期刊论文 70 余篇,与其他学者合作撰写 *Rock Dynamics: From Research to Engineering* 和 *Rock Dynamics and Applications: State of the Art* 等 5 部英文著作。

主要国际学术任职包括 *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resource* 主编, *Rock Mechanics and Rock Engineering* 副主编, *Tunneling and Underground Space Technology* 编委以及其他一些学报的编委等。

索 引

A		超固结比	177
安全度	143	超固结状态	177
B		超固结土	178
包络线	32	沉降与时间的关系	180
不固结不排水三轴试验	32	次固结沉降	183
八面体应力	47	粗糙性	220
布辛奈斯克(J. Boussinesq)	5	承载力系数	223
本构关系	88	D	
比较应力	117	达西(H. Darcy)	5
饱和土体稳定性	65	达西定律	5
泊松比	68	断裂角	19
饱和度	131	等倾线	55
饱和土	147	单剪单元体	34
变形模量	169	单剪强度理论	34
被动土压力	193	Drucker 公设	6
边坡稳定性	245	等倾面	47
边坡承载力统一解	257	等倾单元体	50
布耶鲁姆(Laurits Bjerrum)	243	等倾偏平面	56
C		多孔固体	64
传统土力学	10	等代载荷法	70
侧向自重应力	66	等值线(应力泡)	74
侧压力系数	66	地应力	83
粗粒体	83	单参数破坏准则	86
侧限压缩试验	166	德鲁克(D. C. Drucker)	36
侧限压缩模量	168	Drucker-Prager 准则	35
残余变形	169	等效应力	117
沉降影响系数	171	等压固结	119
侧压力系数	172	地基沉降	5
侧向变形	173	单向固结	181



对数曲线法(三点法)	184	虎勃(August Otto Föppl)	35
地基极限承载力	219	滑坡问题	85
代替法	254	含水量	166
F		回弹曲线	169
附加应力	61	回滞环	169
附加应力系数	70	滑裂面	203
非均质地基	79	滑楔自重	204
弗洛利克(Frohlich)	79	滑动面	219
冯·卡门(Theodore von Karman)	81	滑移线场	155
非凸理论	107	滑坡	245
非饱和土	131	滑动力矩	254
菲林格(Paul Fillunger)	64	滑移角	256
粉土	171	J	
分层	173	静水应力	53
分层总合法	173	静水应力效应	88
法向应力	69	极限面	6
浮重度	253	基底压力	67
G		均布条形载荷	73
固结	21	角点法	71
固结方式	21	均布圆形载荷	77
固结不排水三轴实验	32	剪胀性	83
固结排水三轴实验	32	剪切强度	86
各向同性材料	35	剪切试验	86
各向异性地基	78	浸水	89
骨料	83	极限线	90
干摩擦	87	建模方程	102
固相	129	角隅模型	108
干土	131	静水压力	57
固结变形沉降比	139	剪缩材料	156
固结渗流	181	经验修正系数	175
固结系数	182	剪胀材料	156
固结度	183	局部柔性荷载	173
H		静止土压力	193
黄文熙	1	基坑空间效应	212



极限承载力	219	连续滑动面	193
基础地基	221	朗肯土压力	191
剪切破坏	18	朗肯主动土压力系数	198
浸润线	254	朗肯被动土压力系数	199
K			
库仑(C. A. Coulomb)	1	流网	254
库仑理论	5	路堤结构	255
抗剪强度指标	21	M	
Coulomb 摩擦定律	86	莫尔(Otto Mohr)	35
空间轴对称问题	63	莫尔-库仑强度理论	17
孔隙水压力	64	摩擦角	21
孔隙压力系数	132	沃依特(Voigt W)	35
孔隙率	134	莫尔应力圆	51
空间极限面	108	密集度	84
K_0 固结	32	Mises 准则	86
抗剪强度	201	埋置深度	67
卡萨格兰德(Arthur Casagrande)	161	N	
孔隙比	166	内摩擦角	21
抗剪强度统一强度理论	201	黏土	21
L			
朗肯(W. J. M. Rankine)	5	内边界	6
立方单元体	33	黏聚力系数	155
Lode 参数	53	黏聚力	158
连续体	65	P	
连续介质力学模型	83	偏平面(π 平面)	29
拉压异性(SD 效应)	86	平面应力问题	63
拉压强度比	30	平面应变问题	63
力学模型	33	偏应力	54
拉伸强度极限	105	偏心距	68
流体	129	偏心载荷	67
连通	130	普朗特(Ludwig Prandtl)	35
临界孔隙水压力	143	派生	90
粒间应力	151	偏平面极限迹线	108
利昂纳兹(Gerald A. Leonards)	161	平面应变统一-滑移线场理论	155
		平面应变有效应力统一摩擦角	157



派克(Ralph Brazelton Peck)	161	四棱锥体单元体	104
平均附加应力系数	174	双剪孔隙水压力	128
膨胀	169	碎石土	171
Q		砂土	5
强度包线	18	竖向有效应力	172
全应力	44	渗透变形	180
屈服迹线	92	渗透系数	181
欠固结状态	177	竖向固结系数	182
欠固结土	179	竖向固结时间系数	183
墙背摩擦角	203	瞬时沉降量	183
切向应力	231	双曲线法(二点法)	184
R		渗流	254
任意孔隙压力	130	三轴压缩	135
软土	164	三轴伸长	135
人工填土	170	斯普开邓(Skempton Alec Westley)	
软土地基	180		127
S		沈珠江	1
砂	22	T	
砂土抗剪强度	26	土体峰值强度	27
三轴压缩试验	31	统一强度理论(UST)	36
三轴压缩仪	31	土的固相	65
双剪应力圆	43	天然重度	66
双剪单元体	48	天然土层	67
三剪单元体	49	Tresca 准则	86
双剪应力状态参数	53	土体破坏极限面	92
渗透性	4	土体统一强度理论	99
竖向附加应力	71	统一强度理论参数	105
竖向法应力	69	统一屈服准则	107
碎块体	84	弹性模量	68
生活垃圾	85	体积压缩系数	139
双剪应力围压效应	89	太沙基(Karl Terzaghi)	5
上限	101	土体强度指标 φ	21
双剪强度理论	6	统一摩擦角	81
双剪屈服准则	7	透水性	164

- | | | | |
|------------------------------|-----|--------------------|-----|
| 弹性压密状态 | 169 | 应力路径 | 52 |
| 天然湿度 | 170 | 应力状态类型 | 53 |
| 太沙基一维固结理论 | 181 | 应力角 | 59 |
| 土压力 | 191 | 叶戈洛夫(Eropob K. E.) | 78 |
| 土重度 | 205 | 应力角效应 | 90 |
| 土压力系数 | 198 | 有效应力 | 127 |
| 条形基础 | 7 | 有效应力强度 | 64 |
| 弹性楔体 | 221 | 有效主应力 | 65 |
| 条分法 | 5 | 应力扩散现象 | 78 |
| 统一滑移线场 | 7 | 应力集中 | 78 |
| 泰勒(Donald Wood Taylor) | 243 | 应力集中因数 | 79 |
| W | | 圆形准则 | 103 |
| 误差 | 4 | 压缩强度极限 | 105 |
| 无量纲化 | 70 | 岩石静压力 | 130 |
| Weald 黏土 | 85 | 有效应力原理 | 65 |
| 围压 | 15 | 有效应力摩擦角 | 151 |
| 外凸性 | 92 | 有效应力统一强度理论 | 148 |
| 外边界 | 6 | 压拉强度比 | 151 |
| 外凸理论 | 107 | 压缩性 | 163 |
| 维西可(Aleksandar Sedmak Vesic) | 217 | 压缩曲线 | 166 |
| | 217 | 压缩系数 | 134 |
| 稳定性 | 4 | 压缩指数 | 168 |
| 稳定安全系数 | 248 | 压缩模量 | 168 |
| X | | 应力-应变关系 | 173 |
| 线载荷 | 72 | 应力历史 | 176 |
| 细粒土 | 83 | 压密过程 | 176 |
| 象限 | 92 | 有限元 | 117 |
| 下限 | 6 | 有效重度 | 66 |
| Y | | Z | |
| 应力圆 | 18 | 中间主应力 | 21 |
| 应力状态 | 18 | 最大剪应力 | 18 |
| 应力状态参数 | 24 | 组合准则 | 36 |
| 一般空间应力状态 | 44 | 轴对称三轴试验 | 21 |
| 应力不变量 | 45 | 主应力空间 | 29 |



主平面	43	载荷试验	169
主应力单元体	15	找平	170
主剪应力	46	最终沉降量	172
正交八面体	48	直线变形体	173
柱坐标	57	正常固结状态	177
轴坐标	57	正常固结土	178
自重应力	61	主动土压力	191
中心载荷	67	主动极限平衡状态	196
正应力效应	86	中心倾斜荷载	220
中间主应力效应	87	中心角	232
曾国熙	133	直立边坡	245

前 言

土力学是哈佛大学的太沙基于 1925 在奥地利维也纳工业大学创立的,之后很快传播到一些主要的工业国家。中国土力学第一人黄文熙于 1937 年从美国密执安大学回国后,就来到已经内迁到重庆的中央大学,首开了国内土力学课程,并且建立了国内大学的第一个土工实验室。1938 年,希特勒领导的德国国家社会主义工人党(简称纳粹)并吞奥地利,太沙基离开奥地利到了美国,在哈佛大学任教。此后土力学在美国广泛传播开来。与哈佛大学齐名的耶鲁大学也在 1941 年写出了土力学著作。当时正是第二次世界大战的时候,大概也只有美国和重庆中央大学在开设土力学课程。第二次世界大战后,土力学得到迅速发展,现在已经成为土木、水利、岩土、矿山等领域的主要专业课程。

纵观土力学的发展和内容,土力学主要由土的力学性质和土体结构的工程分析所组成。土在自然界和工程中大多处于复杂应力状态下,因此需要研究土的强度理论。太沙基在土的强度和土的工程结构分析中以莫尔-库仑强度理论为基础。莫尔-库仑理论只考虑了三个主应力中的两个,而没有考虑中间主应力对土体强度和土工结构强度的影响,这一缺陷是很明显的。很多中间主应力实验的结果也证明了中间主应力对土的强度有一定的影响。当时没有更好的理论可以应用,虽然第一强度理论和第二强度理论是线性的,但它们与工程实际不符合。后来各国学者提出了各种各样改进的破坏准则,但是这些强度理论都具有非线性,因此在工程上较难得到应用。土力学发展至今,仍然保持着这个框架。

1985 年出现的线性的广义双剪强度理论,反映了中间主应力效应,是所有可能破坏准则的上限,适用于某一类材料。统一强度理论出现于 1991 年,它是线性的,也反映了中间主应力效应,它的极限面覆盖了域内从内边界到外边界的全部范围,莫尔-库仑理论和双剪强度理论都是它的特例。开始阶段,由于人们对统一强度理论的认识不足,并且受到沃伊特-铁木森科难题(Voigt-Timoshenko Conundrum)的影响(从 1901 年的沃伊特到 1953 年的铁木森科,再到 1985 年的《中国大百科全书》都认为统一强度理论是不可能的,即沃伊特-铁木森科难题。2009 年的第 2 版《中国大百科全书》已经删去了这句话)。现在,经过 10 多年的研究,统一强



度理论已经在岩土工程的很多领域得到研究和应用。很多学者将统一强度理论应用在条形基础承载力、土压力理论和边坡稳定性等问题分析中,得到了一系列新的成果。至此,新的土力学的框架也基本形成。统一强度理论可以适用于更多的材料以及工程应用,它可以为工程实际提供更多的分析、比较、参考和选择。

本书的前 8 章为土力学的理论基础,由于统一强度理论应用了较多新的应力分析和单元体的概念,所以我们新增加了应力状态和单元体这一章。后 4 章为土力学典型工程的实际应用。传统土力学的土的分类,因为与土木、水利、道路的不同规范有所差异,并且在研究内容和方法上与土力学也有所不同,我们在此没有包含进来。书中有些其他内容限于篇幅,也没有涉及,如土工结构的计算机分析,我们只给出个别的图例作为参考。另外,每一章节后面均有阅读参考材料,限于篇幅,均以二维码的形式体现,可供读者课后学习。

书中内容虽经多年的研究,但也有疏漏和不妥之处,深望各位老师和同学及不同领域的读者批评、指正。

著 者

2016 年秋

目 录

1 绪论	(3)
1.1 概述	(3)
1.2 土力学发展简介	(5)
1.3 土力学课程与土木专业和工程实验的关系	(8)
1.4 土力学课程的特点	(8)
1.5 新土力学的应用	(9)
1.6 新土力学与传统土力学的异同	(10)
参考文献	(11)
2 莫尔-库仑强度理论的分析	(17)
2.1 概述	(17)
2.2 对莫尔-库仑强度理论的分析之一:缺少一个变量	(17)
2.3 对莫尔-库仑强度理论的分析之二:只考虑最大应力圆	(18)
2.4 对莫尔-库仑强度理论的分析之三:断裂角分析	(19)
2.5 对莫尔-库仑强度理论的分析之四:土体强度指标 φ	(21)
2.6 对莫尔-库仑强度理论的分析之五:抗剪强度指标 C	(26)
2.7 对莫尔-库仑强度理论的分析之六:土体峰值强度 σ_1^0	(27)
2.8 对莫尔-库仑强度理论的分析之七:复杂应力试验	(29)
2.9 对莫尔-库仑强度理论的分析之八:结构分析结果讨论	(30)
2.10 对莫尔-库仑强度理论的分析之九:轴对称三轴试验方法的讨论	(31)
2.11 对莫尔-库仑强度理论的分析之十:力学模型	(33)
2.12 沃伊特-铁木森科难题	(35)
2.13 土力学的改革和发展需要有新的理论基础	(36)
2.14 本章小结	(37)
参考文献	(37)
3 应力状态和单元体	(43)
3.1 概述	(43)
3.2 空间应力状态	(44)



3.3	从主应力状态($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)求斜截面应力	(46)
3.4	六面体、八面体和十二面体及相应面上的应力	(48)
3.5	莫尔应力圆	(51)
3.6	应力路径、双剪应力路径	(52)
3.7	应力状态类型、双剪应力状态参数	(53)
3.8	主应力空间	(55)
3.9	静水应力轴空间柱坐标	(57)
	参考文献	(59)
4	土体中的应力计算	(63)
4.1	概述	(63)
4.2	土中的有效应力	(64)
4.3	自重应力	(65)
4.4	基底压力	(67)
4.5	地基附加应力	(68)
4.6	平面应变问题的附加应力	(72)
4.7	均布圆形载荷下的应力	(77)
4.8	非均质和各向异性地基中的附加应力	(78)
	参考文献	(80)
5	土体强度的一些基本特性	(83)
5.1	概述	(83)
5.2	拉压异性(SD效应)	(86)
5.3	剪切强度和法向应力效应(正应力效应)	(86)
5.4	双剪强度的法向应力效应	(87)
5.5	静水应力效应	(88)
5.6	中间主应力效应	(89)
5.7	应力角效应(应力偏张量第三不变量效应)	(90)
5.8	土体破坏极限面的外凸性及其内外边界	(92)
	参考文献	(94)
6	土体统一强度理论	(99)
6.1	概述	(99)
6.2	德鲁克公设强度理论的外凸性	(100)



6.3 德鲁克公设外凸性的推论	(100)
6.4 统一强度理论的力学模型	(103)
6.5 土体统一强度理论	(104)
6.6 统一强度理论的特例	(107)
6.7 空间极限面和偏平面极限迹线	(108)
6.8 平面应力状态下的统一强度理论极限	(114)
6.9 统一强度理论等效应力	(117)
6.10 统一强度理论与实验结果的对比	(119)
6.11 统一强度理论的应用	(121)
6.12 统一强度理论的意义	(122)
6.13 本章小结	(124)
参考文献	(124)
7 统一强度孔隙水压力方程	(129)
7.1 概述	(129)
7.2 有效应力的原理	(131)
7.3 孔隙水压力方程	(132)
7.4 统一强度孔隙水压力方程推导	(133)
7.5 增量应力状态的分解	(135)
7.6 统一强度孔隙水压力方程的应用	(139)
7.7 统一强度孔隙水压力方程分析	(142)
7.8 临界孔隙水压力	(143)
参考文献	(144)
8 饱和土和非饱和土有效应力统一强度理论	(149)
8.1 概述	(149)
8.2 单剪、三剪和双剪有效应力强度理论	(151)
8.3 有效应力统一强度理论	(152)
8.4 平面应变问题的有效应力统一强度理论	(155)
8.5 有效应力统一强度理论对非饱和土的应用	(157)
8.6 本章小结	(158)
参考文献	(159)



9 土的压缩与地基的沉降	(163)
9.1 概述	(163)
9.2 压缩试验及压缩性指标	(166)
9.3 土的变形模量及载荷试验	(169)
9.4 地基最终沉降量计算	(173)
9.5 应力历史对地基沉降的影响	(176)
9.6 地基变形与时间的关系	(180)
9.7 古建筑地基的沉降分析	(186)
参考文献	(188)
10 土压力理论	(193)
10.1 概述	(193)
10.2 朗肯土压力的统一理论解	(196)
10.3 抗剪强度统一强度理论表达式	(201)
10.4 土压力滑楔理论的统一解	(203)
10.5 算例	(205)
10.6 基于双剪统一强度理论的加筋土挡墙 卡斯台德空间土的压力研究	(211)
10.7 空间土压力计算理论的双剪统一解	(212)
10.8 本章小结	(214)
参考文献	(215)
11 条形基础地基极限承载力的统一公式	(219)
11.1 概述	(219)
11.2 条形基础地基承载力	(221)
11.3 黏聚力和超载引起的地基极限承载力	(231)
11.4 算例	(236)
11.5 条形基础地基承载力的统一-滑移线场解	(238)
11.6 双剪滑移线理论计算桩端端阻力	(239)
11.7 本章小结	(240)
参考文献	(240)