

644885

5(3)81

高等学校试用教材

4422

土 力 学

武汉地质学院 庄乐和 编
北京研究生部



781

22

地质出版社

成都科学技术大学图书馆
基本藏书

5(3)81
4422

高等学校试用教材

土 力 学

武汉地质学院
北京研究生部 庄乐和 编

地质出版社

通
2
4
1
号

高等学校试用教材

土 力 学

武汉地质学院 庄乐和 编
北京研究生部 *

地质矿产部教育司教材室编辑

责任编辑 杨英华

地质出版社出版
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 15 $\frac{1}{4}$ 字数: 360,000

1982年6月北京第一版·1982年6月北京第一次印刷

印数1—8,290册·定价1.90元

统一书号: 15038·教140

焦

1

本书所用符号注释

符 号	名 称	单 位		符 号	名 称	单 位	
		公 制	国际制			公 制	国际制
A	面 积	cm ² , m ²	m ²	P _a	总的主动土压力	t/m	kN/m
	孔隙压力参数	—	—	P _p	总的被动土压力	t/m	kN/m
A _n	活 性 数	—	—	Q	总的流量	m ³ /hr	m ³ /hr
B	孔隙压力参数	—	—	R	半径; 径向距离	cm, m	m
C	平均附加压应力系数	—	—	[R]	地基容许承载力	t/m ²	kPa
	弹性常数 $C = \frac{E}{1-\mu^2}$	kg/cm ²	MPa	R _s	沉降修正系数	—	—
C _c	压缩指数	—	—	S	沉 降 量	cm	m
C _e	膨胀指数	—	—	S _c	固结沉降量	cm	m
D	圆的直径	cm, m	m	S _i	立即沉降量	cm	m
D _i	基础埋置深度	cm, m	m	S _p	主固结沉降量	cm	m
E	弹性模量; 变形模量	kg/cm ²	MPa	S _r	饱 和 度	—	—
E _s	压缩模量	kg/cm ²	MPa	S _s	次固结沉降量	cm	m
F	安全系数	—	—	S _t	加荷后经时间 t 的沉降量	cm	m
F _i	地基稳定性的安全系数	—	—	S _∞	最终稳定沉降量	cm	m
F _s	土坡的安全系数	—	—	T	表面张力	kg/cm	kN/m
G	剪切模量	kg/cm ²	kPa	T _v	时间因子	—	—
G _s	土颗粒的比重	—	—	U	固 结 度	—	—
H	土层的厚度; 水头的高度	cm, m	m	U _H	H 厚度土层的平均固结度	—	—
I _B	脆性指数	—	—	U _Z	深度 Z 处土单元的固结度	—	—
I _D	相对密度(密度指数)	—	—	V	体 积	cm ³ , m ³	m ³
I _L	液性指数	—	—	W	重 量	kg	kN
I _P	塑性指数	—	—	a	土的压缩系数	cm ² /kg	$\frac{1}{\text{MPa}}$
I _X , I _Y	分别为基础底面积对 X-X 中轴和 Y-Y 中轴的惯性矩	cm ⁴	m ⁴	a ₁₋₂	压力自 1 kg/cm ² 增至 2 kg/cm ² 时的压缩系数	cm ² /kg	$\frac{1}{\text{MPa}}$
I _Z	应变影响系数	—	—	a _N	非线性压缩参数	(cm ² /kg) ^{b_N}	$(\frac{1}{\text{kPa}})^{b_N}$
I _{Zm}	平均应变影响系数	—	—	b	基础底面积的宽度	cm, m	m
K	侧向压力系数	—	—	b _N	非线性压缩参数	—	—
K _a	主动土压力系数	—	—	c	土的粘聚力	kg/cm ²	kPa
K _c	矩形面积均布荷载下角点的垂直压应力系数	—	—	c _{cu}	固结不排水剪的粘聚力	kg/cm ²	kPa
K _o	静止土压力系数	—	—	c _d	排水剪的粘聚力	kg/cm ²	kPa
K _p	被动土压力系数	—	—	c _s	次固结系数	—	—
M	力 矩	kg-cm	kN·m	c _u	不排水剪的粘聚力	kg/cm ²	kPa
M _x	分别为垂直荷载合力对 X-X 中轴和 Y-Y 中轴的力矩	kg-cm	kN·m	c _v	固结系数	cm ² /min	$\frac{\text{cm}^2}{\text{min}}$
M _y				e	自然对数的底	—	—
M _b	容积模量	kg/cm ²	MPa	e	土的孔隙比	—	—
N ₁₀	轻便触探试验锤击数	次	次	f	单位面积上的抗剪阻力	kg/cm ²	kPa
N _{63.5}	标准贯入试验锤击数	次	次	h	水头; 破坏拱门的高度	cm, m	m
N _s	稳定因数	—	—	h _c	毛管上升高度	cm, m	m
N _B , N _C , N _q	极限承载力因数	—	—	i	水头梯度	—	—
N _B N _C , N _D	容许承载力系数	—	—	j	水的渗透力	t/m ³	kN/m ³
				k	渗透系数	cm/min	m/day

续表

符号	名 称	单 位		符号	名 称	单 位	
		公 制	国际制			公 制	国际制
l	基础底面长度	cm, m	m	β	角度; 土坡坡角, 破坏平面与小主应力平面的夹角	$^{\circ}$	deg
m_c	土体的压缩率	cm ² /kg	1/MPa	γ	土的容重	t/m ³	kN/m ³
m_e	土体的膨胀率	cm ² /kg	1/MPa	γ_d	土的干容重	t/m ³	kN/m ³
m_v	一维体积压缩率	cm ² /kg	1/MPa	$\gamma_{d_{max}}, \gamma_{d_{min}}$	分别为最大最小剪应变	—	—
n	土的孔隙度	—	—	γ_{oct}	八面体的剪应变	—	—
p	附加压力	kg/cm ²	kPa	γ_s	土颗粒的容重	t/m ³	kN/m ³
p_a	主动土压力强度	kg/cm ²	kPa	γ_{sat}	土的饱和容重	t/m ³	kN/m ³
p_c	先期固结压力	kg/cm ²	kPa	γ_w	水的容重	t/m ³	kN/m ³
p_{cr}	比例临界压力	kg/cm ²	kPa	γ'	土的水下容重	t/m ³	kN/m ³
p_{ji}	基底的计算压力	kg/cm ²	kPa	δ	土与基础或墙之间的摩擦角	$^{\circ}$	deg
p_0	静止土压力强度	kg/cm ²	kPa	ε	法 应 变	—	—
p_p	被动土压力强度	kg/cm ²	kPa	ε_{oct}	八面体的法应变	—	—
p_u	极限压力	kg/cm ²	kPa	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	大、中、小主应变	—	—
p_{vo}	上覆积土压力	kg/cm ²	kPa	ε_s	次固结应变	—	—
q	渗透速度 (单位时间内透过单位断面积的渗流量)	cm/min	m/day	ε_v	一维体积应变	—	—
	荷载强度	kg/cm ²	kPa	$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$	分别为在 x 、 y 、 z 轴方向的应变	—	—
q_b	承载力	kg/cm ²	kPa	λ, λ_c	形状系数	—	—
q_c	圆锥静力触探的锥底阻力	kg/cm ²	kPa	μ	泊松比 (侧向变形系数)	—	—
	由粘聚力产生的承载力	kg/cm ²	kPa	σ	法应力; 总应力	kg/cm ²	kPa
q_r	由土的重量及内摩擦力产生的承载力	kg/cm ²	kPa	σ'	有效应力	kg/cm ²	kPa
q_l	极限承载力	kg/cm ²	kPa	σ_{1-3}	主应力差 $\sigma_{1-3} = \sigma_1 - \sigma_3$	kg/cm ²	kPa
q_{li}	倾斜的极限承载力	kg/cm ²	kPa	σ_{oct}	八面体的法应力	kg/cm ²	kPa
q_{lh}	极限承载力水平分量	kg/cm ²	kPa	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	大、中、小主应力	kg/cm ²	kPa
q_{lv}	极限承载力垂直分量	kg/cm ²	kPa	σ_{vo}	土的自重压应力	kg/cm ²	kPa
u	静水压力; 孔隙水压力	kg/cm ²	kPa	σ_x, σ_y	分别为 x 、 y 轴向法应力	kg/cm ²	kPa
u_a	孔隙气压力	kg/cm ²	kPa	σ_z	z 轴向法应力或垂直压应力	kg/cm ²	kPa
u_w	不饱和土体的孔隙水压力	kg/cm ²	kPa	τ	剪 应 力	kg/cm ²	kPa
u_0	初始孔隙水压力	kg/cm ²	kPa	τ_f	抗剪强度	kg/cm ²	kPa
w	土的含水量	—	—	τ_{fcu}	固结不排水剪抗剪强度	kg/cm ²	kPa
w_L	液 限	—	—	τ_{fd}	排水剪抗剪强度	kg/cm ²	kPa
w_P	塑 限	—	—	τ_{fv}	不排水剪抗剪强度	kg/cm ²	kPa
w_{sat}	土的饱和含水量	—	—	τ_{oct}	八面体的剪应力	kg/cm ²	kPa
α	角度; 破坏平面与大主应力平面的夹角	$^{\circ}$	deg	φ	土的内摩擦角	$^{\circ}$	deg
α_n	水平面与主平面的夹角	$^{\circ}$	deg	φ'	土的有效内摩擦角	$^{\circ}$	deg
α_i	水平面与最大剪应力平面的夹角	$^{\circ}$	deg	φ_{cu}	固不剪土的内摩擦角	$^{\circ}$	deg
				φ_d	排水剪土的内摩擦角	$^{\circ}$	deg
				φ_u	不排水剪土的内摩擦角	$^{\circ}$	deg
				ω	与基础形状及性质有关的系数	—	—

注: 国际制单位与公制单位的换算 (N读牛顿, Pa读帕斯卡)

1 N = 0.102 kg,	1 kN = 1000 N,	1 Pa = 1 N/m ² ,
1 kPa = 1000 Pa,	1 MPa = 10 ⁶ Pa,	1 kPa = 0.102 t/m ² = 0.0102 kg/cm ² .
1 t = 9.80 kN,	1 kg = 9.80 N,	1 g = 0.00980 N,
1 kg/cm ² = 98.0 kPa,	1 cm ² /kg = 10.2 1/MPa,	1 t/m ³ = 9.80 kN/m ³ ,
1 t/m ² = 9.80 kPa,	1 t/m = 9.80 kN/m,	

目 录

第一章 绪 论

§ 1.1 土力学研究的内容及意义	1
§ 1.2 土力学作为力学研究的特点及与有关课程的联系	1
§ 1.3 土力学发展的简史及我国学者对本学科的贡献	2
§ 1.4 土力学在社会主义经济建设上的意义	3

第二章 土力学基本问题的原理

§ 2.1 概述	5
§ 2.2 土的物理性状指标及土的分类	5
§ 2.3 土内毛细水的作用	11
§ 2.4 有效应力与孔隙水压力的原理	13
§ 2.5 一点的应力和应变	15
§ 2.6 应力和应变的恒定量	22
§ 2.7 几种理想物体的本构关系	23
§ 2.8 超静孔隙水压力与孔隙压力参数	25
§ 2.9 土的应力-应变关系及其性质的测定	28
§ 2.10 地下水的渗透力	31

第三章 地基土内应力的计算

§ 3.1 概述	33
§ 3.2 土自重应力的计算	33
§ 3.3 基础底面与土接触面上压力的计算	35
§ 3.4 集中力作用下的应力	38
§ 3.5 矩形面积垂直荷载作用下的垂直压应力	40
§ 3.6 矩形面积均布水平荷载作用下的垂直压应力	49
§ 3.7 圆形面积垂直荷载作用下的垂直压应力	51
§ 3.8 长条面积垂直荷载作用下的应力	54
§ 3.9 长条面积均布水平荷载下的垂直压应力	59
§ 3.10 应力的分布曲线及应力的等值线	60
§ 3.11 非均质土层的应力计算	61

第四章 地基土变形的计算

§ 4.1 概述	66
----------------	----

§ 4.2	固结试验及其确定的系数	66
§ 4.3	土的本构定律及非线性压缩参数	72
§ 4.4	天然土层的固结	74
§ 4.5	土层最终压缩量的计算	77
§ 4.6	土层的一维固结	78
§ 4.7	粘-弹型的固结	88
§ 4.8	地基的载荷及触探试验	90
§ 4.9	基础沉降量的组成	94
§ 4.10	立即沉降的计算	95
§ 4.11	基础在无粘性土地基上沉降的计算	96
§ 4.12	基础在粘性土地基上沉降的计算	99
§ 4.13	工民建地基设计规范中基础沉降量计算方法	112
§ 4.14	沉降计算结果的应用	115

第五章 土的抗剪强度和破坏理论

§ 5.1	概述	117
§ 5.2	莫尔-库伦破坏理论	118
§ 5.3	土的直接剪切试验	119
§ 5.4	土的三轴剪切试验	120
§ 5.5	总应力与有效应力抗剪强度指标	124
§ 5.6	无粘性土的抗剪强度	125
§ 5.7	饱和粘土的抗剪强度	126
§ 5.8	压实不饱和粘土的抗剪强度	131
§ 5.9	三轴试验的应力路线及其对土的力学性质的影响	133
§ 5.10	土体内一点发生破坏的应力条件	135

第六章 地基的承载力和稳定性

§ 6.1	概述	138
§ 6.2	地基土内应力状态的三个阶段	139
§ 6.3	按地基土内产生塑性平衡区的理论确定承载力	140
§ 6.4	地基的极限承载力	143
§ 6.5	挡水建筑物地基的极限承载力及稳定性	154
§ 6.6	天然地基的容许承载力	158
§ 6.7	桩的承载力	164

第七章 土坡稳定性的计算

§ 7.1	概述	170
§ 7.2	计算土坡稳定性的圆弧法	170
§ 7.3	计算土坡稳定性的条分法	175

§ 7.4	土坡滑动面为任意形状的莫布条分法	180
§ 7.5	对土坡稳定有影响的几种水压力的计算	185
§ 7.6	毕蕃泼条分法用于非圆弧滑动面土坡稳定性的计算	186
§ 7.7	无粘性土斜坡稳定性的计算	188

第八章 挡土结构上的土压力

§ 8.1	概述	191
§ 8.2	墙的位移对土压力的影响	191
§ 8.3	伦金的土压力理论	193
§ 8.4	库伦的土压力理论	197
§ 8.5	一些常见情况的主动土压力计算	202
§ 8.6	挖坑内支撑上的土压力	205
§ 8.7	隧道衬砌顶部土压力的计算	208
§ 8.8	隧道衬砌侧面土压力的计算	214
§ 8.9	隧道衬砌底部土压力的计算	216
	习题	219
	附录	228
	外国人名中译对照表	236
	参考文献	237

第一章 绪 论

§ 1.1 土力学研究的内容及意义

土力学是研究与工程建筑有关的土的应力-应变、强度和稳定性等力学问题的一门学科，它是随着经济建设而发展的应用力学之一。一般土力学的内容有土的物理力学性质、地基土内的应力、地基土的变形、地基土的承载力及稳定性、土坡的稳定性及挡土结构上的土压力等课题。

由于我国为了实现四个现代化，随着经济文化及科学的发展，要求建筑物的质量与数量也越来越高了，同时作用在建筑物基础上的荷载也增加了，使我们对于作为建筑物地基的土能够承受多少荷载、即容许承载力的决定，不得不加以科学的研究与分析。如果在软弱的地基上盖上过重的建筑物就要遭到过大的沉陷、倾复或破坏。如果不根据土力学等这方面的科学去分析地基的容许承载力，盲目加大建筑物和基础的安全设计，这样虽然地基是很稳定，建筑物很安全，但是建筑费用增加了，要浪费大量的资金。要做到设计的建筑物与地基既安全而又经济，这就是学习本课程的意义。

§ 1.2 土力学作为力学研究的特点 及与有关课程的联系

土的松散性是区别于整体岩石的主要特性，这种特性是创立土力学的主要原因。土不是属于连续的物体，而是由许多单独的固体颗粒所组成，这些固体颗粒之间是不粘结的或是颗粒间粘结的强度比其本身的强度小很多倍。这种松散性的存在，使得在外力作用下，会改变土的孔隙；有时外力使矿物颗粒分成更小的颗粒，颗粒愈小，颗粒表面的能量就愈大，使颗粒之间增加了粘聚力，这就改变了土的性质。所以松散的砂类土与细粒的粘土类土，它们的物理性质和力学性质都不同。由于同一区域的地层具有不同的客观影响，所以它们的结论必须根据土的实际性质的研究和认识，也就是要根据用适当的测试方法所提供的试验资料来决定。

土力学作为力学计算的问题，是不同于理论力学，不能用纯数学-力学的观点。例如建筑物基础沉陷量的计算、土坡稳定性的计算及挡土结构上土压力的计算等，一定要根据实际的调查、现场及实验室的试验资料进行研究，然后把研究所得的资料进行力学的计算。

在工程地质专业的课程中，与土力学有联系的课程有：工程力学、水力学、地下水动力学、土质学（或称工程岩土学）、岩体力学及工程地质学等。这些课程与土力学是先后连接的关系，后者是应用或参考前者的基本原理和方法。

工程力学的内容包括理论力学、材料力学和弹性力学各一部分。理论力学应用于土的研究时提供一般的力学原理。材料力学主要是从事于梁、柱、杆件等物体计算的理论，在

土力学中,对于土体作为建筑材料时,它的强度校核通常是根椐材料力学决定的,但因土是松散的物体,所以材料力学只能提供一部分计算方法。水力学提供了水在土体中运动的一般原理。地下水动力学研究地下水的运动规律,土力学也研究土体中水的运动问题,二者可以互相参考。土质学是研究土的成因、分类、土的物理和物理化学性质的科学。它与土力学课前后衔接,关于土的物理力学性质的内容主要在土质学中讲授,这里不作重点介绍。岩体力学是研究岩体的力学性能的理论 and 应用的科学,它与土力学很相似,可以互相参考。工程地质学是在土力学之后讲授,它可以应用土力学的原理和计算方法作为工程地质定量评价的手段之一。由此可见,土力学在工程地质专业中是重要的课程之一。

§ 1.3 土力学发展的简史及我国学者 对本学科的贡献

远在十八世纪下半纪,法国科学家库伦(Coulomb)于1773年提出了土压力的理论及土的抗剪强度的定律,直到今天,还在土力学中应用。1925年奥国太沙基(Terzaghi)教授出版了德文土力学,各国学者相继进行研究。至1932年苏联崔托维奇(Цытович)教授出版了普通土力学教程,对土力学作了系统的叙述。我国开始研究土力学是在1940年左右。当时旧中国的经济和文化都很落后,所以土力学也发展很慢。至1949年10月新中国成立之后,经济建设有着飞跃的发展,而为经济建设服务的技术科学必然得到相应的发展,所以在近三十年土力学发展很快。早在1953年第一个五年计划开始后,本学科在配合国家经济建设中有有了很大的进展,仅在1953年,北京各工业工程部门建立了土工试验室二十余所。中国科学院在武汉的岩土力学研究所,铁道部铁道科学研究所土工研究室及建筑工程部建筑科学研究院地基研究所等单位都对土力学有专门的研究。三十年来,在经济建设中解决了许多岩土工程问题。

由于中国共产党和各政府机关对本学科发展的重视,从1953年起,在土力学方面开展了以下的一系列学术活动和经验交流会。在1953年一月,中国科学院召开了“工程地基土壤检验会议”,1953年中国土木工程学会所属各地分会开始建立关于土工与土力学的组织;在中国科学院与国家建设委员会领导下,于1956年中国土木工程学会成立了“土力学专门委员会”,它在1957年参加了“国际土力学及基础工程协会”作为会员,并于该年派员出席了在英国伦敦召开的“第四届国际土力学及基础工程会议”,又分别于1961年和1981年参加了第五届和第十届国际土力学及基础工程会议。中国土木工程学会分别于1958年在天津、1962年在武汉及1979年在杭州召开过三届土力学及基础工程学术会议,并在第三届会议期间成立了“土力学及基础工程学会”,对土力学的发展得到了很大的推进。现在我国的土力学正向世界先进水平迈进。

对于土力学这门学科的发展,我国学者有很大贡献。在第一个五年计划开始之后,随着社会主义经济建设的需要,在高等学校的土建、水利水电及工程地质等专业里都开设有土力学这门课。我国土力学家黄文熙教授,现选为土力学与基础工程学会会长,是我国研究土力学最早的学者。自1946年起领导南京水利工程实验处进行科学研究工作,并先后在南京大学、华东水利学院及清华大学讲授土力学课。黄教授还曾在水利科学研究院从事土力学的工作,对水工建筑物地基中应力分布及沉降量计算方面有新的贡献。曾在中国

科学院岩土力学研究所从事土力学研究工作的陈宗基教授对软粘土的流变性质及固结理论有新的成就，曾引起国际科学家的注意。

§ 1.4 土力学在社会主义经济建设上的意义

随着我国社会主义经济建设的发展，大型的工程项目不断兴建。自1953年开始的第一个五年计划至现在的第五个五年计划，每一个五年计划都有几百个大型项目的建设。众所周知，大多数建筑工程是造在土基上的，每一建筑物都有很大的重量，使地基土受到很大的压力，地基就产生变形或称沉降，而地基各点的沉降量是很可能不相等的，由于不等量的沉降使建筑物内部应力重新分布，小的引起裂缝，大的就使建筑物破坏，有的虽然没有破坏，但是应力增加了，因而降低了建筑物的使用价值。例如一个桥梁的主梁，因为增加了应力就不能再承受所设计的最大活荷重，这就降低了桥梁的使用价值。又如房屋上的裂缝，至少是有碍美观。在重工业建设中，有很多动力机械如涡轮机，因基础沉降而发生偏斜，妨碍了机器的运转。水力发电的挡水坝有时因地基变形而破坏。还有土作为工程材料，如土坝土堤等工程，它们的尺寸大小，及用什么土做坝的材料，需要哪些条件，在何时会有不紧密和坍塌的危险，这些都要土力学的知识来决定。

自1953年以后，土力学在社会主义经济建设的工程建筑上起了很大的作用。例如，上海地区地表上部有一百几十米厚的亚粘土层，以下有几十米厚的淤泥质粘土层，解放前，所有高层建筑物和重要的工业厂房都普遍采用桩基。五十年代以后，应用土力学等知识改变了地基和基础的设计，许多中小型工业厂房和高层建筑物都采用了天然地基，基础埋置在上部亚粘土层中，节省了很多做桩基的钢材和建筑费用。

又如北京城内的许多建筑地区，分布有人工填土和具有高压缩性的近代淤积土层。过去传统的说法，这些松软土层不允许作为建筑物地基，建筑物的基础必须埋置在所谓“老土”中。从1954年以后，工程人员掌握了土力学这门科学，打破了上述陈旧的传统，开始在人工填土和近代淤积层上进行建筑。1958年，在天安门广场附近兴建的占地面积达8万平方米的高大建筑物群，就是部分造在四老河床淤泥土层和人工填土层的地基上。

东北某冶金企业的厂房建造在沼泽地带，天然地面标高变化达9米，厂房南北两端有淤泥夹层，中部有砂砾夹层，夹层厚度变化很不规律，若将淤泥层全部挖除，估计土方将达八至九十万立方米。若用桩基，须打桩1万5千根。后来根据土力学的知识采用天然地基，按临塑荷载计算地基的容许承载力，再进行沉降计算，计算结果各部分沉降在10至30厘米范围内，在设计时采取一系列措施解决了各部分不均匀沉降问题。由于采用了天然地基，不但节约了二百万元，并且缩短了施工期三、四个月。

我国武汉长江大桥和南京长江大桥是伟大的社会主义建设工程，虽然桥墩的桩基础是造在岩基上，但是两端的公路引桥是用土填筑成的，这些工程的建成也要应用土力学的知识。

我国在第一至第五个五年计划期间建成许多大中型的水电站和水库。例如浙江省新安江水电站，湖北省丹江口水电站，黄河上的三门峡水电站、刘家峡水电站和青铜峡水电站，北京的密云水库，以及长江的葛洲坝水利枢纽等，这些大工程的建成，都或多或少要应用土力学的知识，尤其是土坝主要根据土力学理论来选取土的材料和设计坝体的。

在中国共产党提出建设四个现代化以后，掀起了工农业现代化的建设高潮。全国大量建设工厂和水利工程，世界上最大的水力枢纽即将在我国长江三峡兴建，这些伟大的工程都要通过土力学及其它学科进行地基的勘测与设计。

我们必须努力学好土力学这门学科，为实现四个现代化和为社会主义经济建设作出贡献。

第二章 土力学基本问题的原理

§ 2.1 概 述

土是由许多单独的固体颗粒所组成的物体，固体颗粒之间的孔隙充满水或气体。土颗粒的空间排列及颗粒之间的粘结和构结称为土的结构。天然沉积的土具有天然结构，扰动的土则为扰动结构。由于土是松散性的，可以在内力或外力作用之下改变土的孔隙和结构。土的孔隙和结构的改变意味着土的性质的改变。所以，土的物理性质；土内的毛细管水作用；有效应力与孔隙水压力；一点的应力和应变；超静孔隙水压力；土的应力-应变关系及其性质的确定等，是土力学的基本问题。本章将讲述这些问题的原理。

§ 2.2 土的物理性状指标及土的分类

由试验测定表明土物理性质和状态的数值称为土的物理性状指标。土的物理性状指标是评价土的性能的主要指标，在土力学的计算中也是必用的资料。

为了能清楚地说明土的各种物理性质之间的关系。我们假设把土样分成固体、液体（水）及气体三部分，而总体积的数量不变，并以下列符号代表各个名称：

- V ——土的总体积（ m^3 ）；
- V_s ——土固体的实体积（ m^3 ）；
- V_v ——土孔隙的体积（ m^3 ）；
- V_w ——水的体积（ m^3 ）；
- V_a ——气体的体积（ m^3 ）；
- W ——土的总重量（ kN ）；
- W_s ——土固体颗粒的重量（ kN ）；
- W_w ——水的重量（ kN ）；
- γ_w ——水的容重（ kN/m^3 ）。

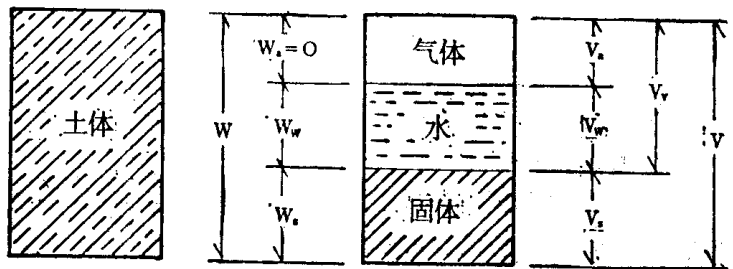


图 2.1 土体的组成

从图2.1所表示的各分量间的关系为：

$$V = V_v + V_s; \quad V_v = V_a + V_w; \quad W = W_w + W_s.$$

（注：因为气体的重量很小假定为零）

土的物理性状指标的名称、定义及表示式如下：

1. 土的容重 γ

土的容重也称土的单位体积重量，是土的总重量 W 除以土的总体积 V 所得的商。

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (\text{kN}/\text{m}^3) \quad (2.1)$$

2. 土的含水量 w

土的含水量也称土的湿度，是土在 $100\sim 105^{\circ}\text{C}$ 温度下烘至恒重时所失去水的重量 W_w ，除以土固体颗粒的重量 W_s 所得的商，一般以百分数来表示。

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

3. 土固体颗粒的比重 G_s

土固体颗粒的比重，是土在 $100\sim 105^{\circ}\text{C}$ 的温度下烘至恒重时的固体颗粒的重量与固体颗粒同体积摄氏 4° 的水重之比。

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w(4^{\circ}\text{C})} \quad (2.3)$$

式中： $\gamma_w(4^{\circ}\text{C})$ 是摄氏 4° 时水的容重等于 9.8 kN/m^3 。

3'. 土固体颗粒的容重 γ_s

土固体颗粒的容重是土固体颗粒的重量 W_s 除以固体颗粒的体积 V_s 所得的商。

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.4)$$

从 (2.3) 和 (2.4) 得到

$$\gamma_s = G_s \cdot \gamma_w(4^{\circ}\text{C}) \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.5)$$

土固体颗粒的比重 G_s 在数值上等于固体颗粒的容重 γ_s ，不过前者是无量纲值，后者是有量纲值，可以把土固体颗粒的比重和容重看作为一个指标。

以上是土的三个基本的物理性状指标，必须用实验的方法测定。土的其它物理性状指标如下述，它们的值可用以上三个实测的指标通过关系式计算得到。

4. 土的干容重 γ_d

土的干容重是土固体颗粒的重量除以土的总体积所得的商。

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W}{V} \cdot \frac{W_s}{W_s + W_w} = \frac{W/V}{1 + W_w/W_s}$$

把 (2.1) 和 (2.2) 式代入上式得：

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.6)$$

5. 土的孔隙率 n

土的孔隙率是单位体积土中孔隙所占的体积，等于土孔隙的体积除以土的总体积所得的商，一般用百分数表示。

$$n = \frac{V_v}{V} \cdot 100\%$$

$$\text{因为 } \frac{V_v}{V} = \frac{V - V_s}{V} = 1 - \frac{W_s/V}{W_s/V_s} = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = 1 - \frac{\gamma}{(1+w)\gamma_s}$$

$$\text{所以 } n = \left[1 - \frac{\gamma}{(1+w)\gamma_s} \right] \cdot 100\% \quad (2.7)$$

6. 土的孔隙比 e

土的孔隙比是土中孔隙的体积与固体颗粒体积之比。

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$\text{因为 } \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{W_s/V_s}{W_s/V} - 1 = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{(1+w)\gamma_s}{\gamma} - 1$$

$$\text{所以 } e = \frac{(1+w)\gamma_s}{\gamma} - 1 \quad (2.8)$$

根据工业与民用建筑地基基础设计规范 TJ7-74 的规定, 砂土的密实度根据土的天然孔隙比 e 按表 2.1 分为密实、中密、稍密和松散。根据规范的规定, 土的孔隙比是确定地基容许承载力的一个因素。

表 2.1 砂 土 的 密 实 度

土 的 名 称	密 实	中 密	稍 密	松 散
砾砂、粗砂、中砂	$e < 0.60$	$0.60 \leq e \leq 0.75$	$0.75 < e \leq 0.85$	$e > 0.85$
细砂、粉砂	$e < 0.70$	$0.70 \leq e \leq 0.85$	$0.85 < e \leq 0.95$	$e > 0.95$

7. 土的饱和容重 γ_{sat}

土的饱和容重是土体孔隙内完全充满水时的容重。

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \cdot \gamma_w}{V} = \gamma_d + n \cdot \gamma_w \quad (\text{kN/m}^3)$$

把 (2.6) 和 (2.7) 代入上式后得:

$$\gamma_{sat} = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)\gamma}{(1+w)\gamma_s} + \gamma_w \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.9)$$

8. 土的水下容重 (或称浮容重) γ'

土的水下容重为位于地下水水位以下的土, 其固体颗粒将受水的浮力, 而土的有效容重则减小, 这种位于地下水水位以下的土减去浮力的容重称为土的水下容重。

$$\gamma' = \frac{W_s - V_s \cdot \gamma_w}{V} = \frac{W_s - V_s \cdot \gamma_w}{V_s} \cdot \frac{V_s}{V}$$

$$\text{所以 } \gamma' = (\gamma_s - \gamma_w)(1 - n)$$

把 (2.7) 代入上式后得:

$$\gamma' = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)\gamma}{(1+w)\gamma_s} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (2.10)$$

9. 土的饱和含水量 w_{sat}

土的饱和含水量是指水完全充满土中孔隙时的含水量。

$$w_{sat} = \frac{V_v \cdot \gamma_w}{W_s} = \frac{V_v \cdot \gamma_w}{V_s \cdot \gamma_s} = e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$$

把 (2.8) 式代入上式后得:

$$w_{sat} = \left(\frac{1+w}{\gamma} - \frac{1}{\gamma_s} \right) \gamma_w \cdot 100\% \quad (2.11)$$

10. 土的饱和度 S_r

土的饱和度是土孔隙中水的体积占全部孔隙体积的百分比。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{V_w \cdot \gamma_w / W_s}{V_v \cdot \gamma_w / W_s} = \frac{w}{w_{sat}} \cdot 100\%$$

把 (2.11) 式代入上式后得:

$$S_r = \frac{\gamma \cdot w \cdot \gamma_s}{[(1+w)\gamma_s - \gamma]\gamma_w} \cdot 100\% \quad (2.12)$$

土的饱和度在天然地基的评价上有一定的功用，工业与民用建筑地基基础设计规范中，砂土的湿度根据饱和度 S_r （%）分为：

稍 湿	$S_r \leq 50$
很 湿	$50 < S_r \leq 80$
饱 和	$S_r > 80$

砂土的湿度在规范中是确定地基容许承载力的一个因素。

11. 砂土的相对密度 I_D

砂土和砾石等无粘性土的另一个密度指标称为相对密度。相对密度定义为

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (2.13)$$

式中 e 是砂土在天然状态的孔隙比， e_{max} 和 e_{min} 分别为砂土在最松和最密状态时的孔隙比。

12. 粘性土的阿太保稠度界限

粘性土的坚硬性或稠度取决于土中粘土矿物的含量和含水量的多少。粘性土随着含水量的增加，由固体和半固体状态变成塑性状态，再变成液性流动状态，分成三种不同的物理状态，如图2-2所示。

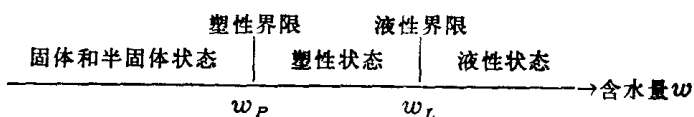


图 2.2 阿太保稠度界限

固体状态与塑性状态分界的含水量称为塑性下限含水量，简称塑性界限或塑限，以符号 w_p 表示。塑性状态与液性状态分界的含水量称为塑性上限含水量或液性下限含水量，简称液性界限或液限，以符号 w_L 表示，粘性土的塑限和液限就是阿太保界限。

塑性界限 w_p 的测定，一般多采用搓条法，就是用手把土样放在毛玻璃板上搓成细条，如果细条直径搓到3毫米时土条产生许多裂纹并且断成数段，这时测得土条的含水量即为塑限 w_p 。

液性界限 w_L 的测定，在我国和苏联一般采用锥式液限仪。如图2.3，先在杯内装满调匀的土试样，刮平表面，把锥体放在土试样表面中心，让它在自重作用下徐徐沉入土中，如果锥体恰好沉入土内10mm不再下沉，这时测得杯中土试样的含水量即为液限 w_L 。在欧美等国家采用碟式液限仪测定土的液限，先在碟内装好如图2.4所示的土试样的尺寸，

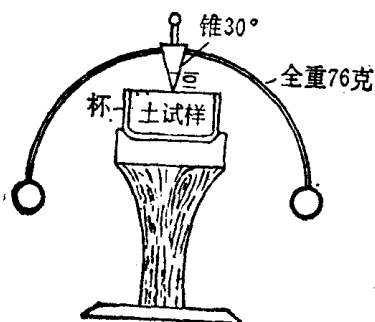


图 2.3 锥式液限仪

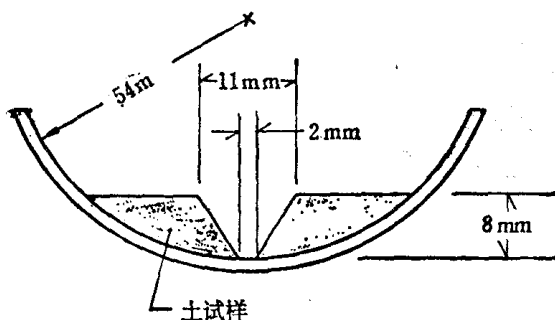


图 2.4 碟式液限仪碟中土试样及沟的尺寸

摇动此仪器的曲柄使碟上升10mm然后自由落击在硬橡皮的底板上，由于震动而使沟二边的土试样向中间流动而在碟底接触，如果摇碟落击25次而沟二边的土试样接触的长度约13mm，那末，这时测得土试样的含水量即为液限 w_L 。

13. 粘性土的塑性指数 I_P

塑性指数是粘性土的液限与塑限之差。

$$I_P = w_L - w_P \quad (2.14)$$

塑性指数实用上的意义，在于它有效地反映粘性土中粘土矿物的类型和粘土颗粒（直径小于0.002mm的颗粒）的百分含量。如图2.5所示，例如伦敦粘土，塑性指数的增加和粘土颗粒百分含量的增加成正比例，它们是一条延长可以经过原点的直线关系。

14. 粘性土的活性数 A_n

图2.5的资料说明不同的粘土常常可以绘出塑性指数与粘土颗粒百分含量之间的关系直线，这直线的斜率称为活性数。

$$A_n = \frac{I_P}{\% < 0.002\text{mm}} \quad (2.15)$$

不同的粘土有不同的活性数 A_n 值，这是由于不同的粘土矿物参与这些粘土的缘故。三种粘土矿物（高岭石、伊利石和蒙脱石）得到的塑性指数与粘土颗粒百分含量之间的关系是典型的直线。它们的活性数相差较大。高岭石的活性数 $A_n=0.3$ ；伊利石的活性数 $A_n=0.9$ ；蒙脱石的活性数 $A_n=1.5$ 。可以认为活性数大于1的粘土是活性粘土。例如，含大量蒙脱石的粘土是活性粘土，当干的土遇水时体积有很大的膨胀；当饱和的土风干时体积有很大的收缩。这种土作为工程材料及地基时必须注意它的胀缩性。

15. 粘性土的液性指数 I_L

液性指数是另一个有用的指标，它能反映土的软硬状态，液性指数定义为：

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} \quad (2.16)$$

式中 w 是土的天然含水量； w_P 是塑限； I_P 是塑性指数。

液性指数越大，表示土越软。一个新近沉积而未固结的土，可能有超过液限的含水量和大于1的液性指数。一个经过重压的土可能有接近塑限的含水量和接近于0的液性指数。液性指数大于1是过敏性粘土的特征，如果这种土被扰动或重塑，它将象粘滞的液体一样流动。

工业与民用建筑地基基础设计规范中，规定粘性土的状态，根据液性指数 I_L 分为：

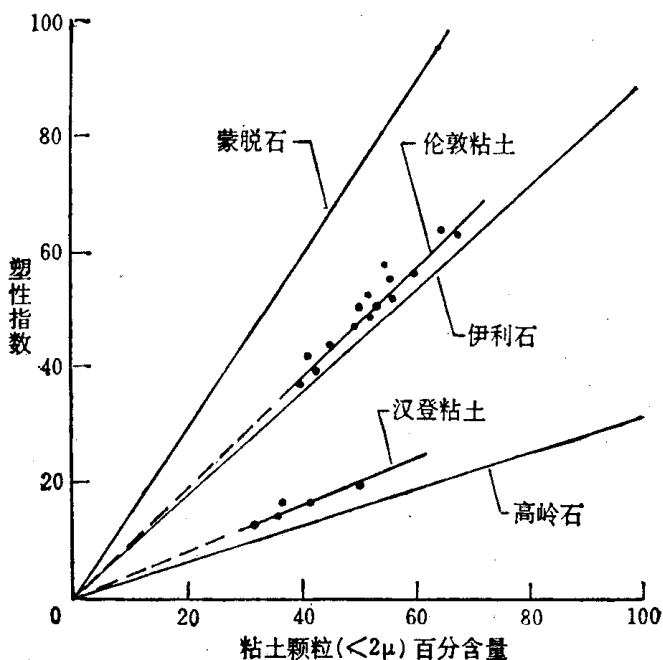


图 2.5 塑性指数与粘土颗粒百分含量关系图
[按司克姆波吞(Skempton)1953]