



高等院校卓越计划系列丛书

土力学

龚晓南 谢康和 主编

中国建筑工业出版社



高等院校卓越计划系列丛书

土力学

龚晓南 谢康和 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土力学/龚晓南, 谢康和主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 9

高等院校卓越计划系列丛书

ISBN 978-7-112-16976-4

I. ①土… II. ①龚… ②谢… 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(2014)第 125100 号

本教材是高等院校卓越计划系列丛书浙江大学建筑工程学院卓越计划系列教材之一。主要根据全国高等学校土木工程专业教学指导委员会编制的教学大纲编写。内容包括土的物理性质与工程分类、土的渗透性与渗流、地基中应力与计算、土的压缩性和固结理论、地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力和支挡结构、地基承载力、土坡稳定分析等。注重基本概念的阐述和基本原理的工程应用。

本书可作为土木工程专业各专业方向, 如建筑工程、市政工程、地下工程、道桥等, 以及水利工程、海洋工程等专业土力学课程教材, 亦可供土建、水利等专业人员学习参考。

* * *

责任编辑: 朱象清 赵梦梅

责任设计: 张虹

责任校对: 张颖 关健

高等院校卓越计划系列丛书

土力学

龚晓南 谢康和 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 410 千字

2014 年 11 月第一版 2014 年 11 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-16976-4
(25765)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等院校卓越计划系列丛书
浙江大学建筑工程学院卓越计划系列教材

《土力学》编写人员

主 编 龚晓南 谢康和

参 编 刘松玉 李广信 胡安峰 谢新宇

徐日庆 唐晓武 邹维列

浙江大学建筑工程学院卓越计划系列教材

浙江大学出版社 中国美术学院 建筑工程学院 浙江大学

丛书序言

吴人平 编 (李代士)

随着时代进步,国家大力提倡绿色节能建筑,推进城镇化建设和建筑产业现代化,我国基础设施建设得到快速发展。在新型建筑材料、信息技术、制造技术、大型施工装备等新材料、新技术、新工艺广泛应用新的形势下,建筑工程无论在建筑结构体系、设计理论和方法、以及施工与管理等各个方面都需要不断创新和知识更新。简而言之,建筑业正迎来新的机遇和挑战。

为了紧跟建筑行业的发展步伐,为了呈现更多的新知识、新技术,为了启发更多学生的创新能力,同时,也能更好地推动教材建设,适应建筑工程技术的发展和落实卓越工程师计划的实施,浙江大学建筑工程学院与中国建筑工业出版社诚意合作,精心组织、共同编纂了“高等院校卓越计划系列丛书”之“浙江大学建筑工程学院卓越计划系列教材”。

本书编写的指导思想是:理论联系实际,编写上强调系统性、实用性,符合现行行业规范。同时,推动基于问题、基于项目、基于案例多种研究性学习方法,加强理论知识与工程实践紧密结合,重视实训实习,实现工程实践能力、工程设计能力与工程创新能力的提升。

丛书凝聚着浙江大学建筑工程学院教师们长期的教学积累、科研实践和教学改革与探索,具有了鲜明的特色:

(1) 重视理论与工程的结合,充实大量实际工程案例,注重基本概念的阐述和基本原理的工程实际应用,充分体现了专业性、指导性和实用性;

(2) 重视教学与科研的结合,融进各位教师长期研究积累和科研成果,使学生及时了解最新的工程技术知识,紧跟时代,反映了科技进步和创新;

(3) 重视编写的逻辑性、系统性,图文相映,相得益彰,强调动手作图和做题能力,培养学生的空间想象能力、思考能力、解决问题能力,形成以工科思维为主体并融合部分人性化思想的特色和风格。

本丛书目前计划列入的有:《土力学》、《基础工程》、《结构力学》、《混凝土结构设计原理》、《混凝土结构设计》、《钢结构原理》、《钢结构设计》、《工程流体力学》、《结构力学》、《土木工程设计导论》、《土木工程试验与检测》、《土木工程制图》、《画法几何》等。丛书分册列入是开放的,今后将根据情况,做出调整和补充。

本书面向土木、水利、建筑、园林、道路、市政等专业学生,同时也可以作为土木工程注册工程师考试及土建类其他相关专业教学的参考资料。

浙江大学建筑工程学院卓越计划系列教材编委会

2014.10

前 言

2002年我们组织编写了大学本科教材《土力学》(龚晓南主编,2002年中国建筑工业出版社出版),至今已12年。为了适应土木工程专业教学改革和培养新世纪卓越工程师教学的需要,并反映这些年来土力学学科的发展,我们联合浙江大学、清华大学、东南大学、武汉大学、浙江大学宁波理工学院等5所院校的9位教授和学者,在《土力学》2002版的基础上,重新编写了此《土力学》教材。

《土力学》教材不仅适用于土木工程各专业方向,如建筑工程、市政工程、地下工程、道桥等专业方向土力学课程的教学,也适用于水利工程、海洋工程专业土力学课程教学。

《土力学》由浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心龚晓南院士、谢康和教授主编。全书共分10章。第1章绪论,由龚晓南院士、谢康和教授编写;第2章土的物理性质与工程分类,由东南大学刘松玉教授编写;第3章土的渗透性与渗流,由清华大学李广信教授编写;第4章地基中应力与计算,由浙江大学胡安峰副教授编写;第5章土的压缩性和固结理论,由谢康和教授编写;第6章地基沉降计算,由浙江大学宁波理工学院谢新宇教授编写;第7章土的抗剪强度,由龚晓南院士编写;第8章土压力和支挡结构,由浙江大学徐日庆教授编写;第9章地基承载力,由浙江大学唐晓武教授编写;第10章土坡稳定分析,由武汉大学邹维列教授编写。浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心的黄大中、孙中菊、张玮鹏、吴浩和夏长青等研究生参加了本书部分章节的排版打印和校核工作。

在编写过程中,编者注重基本概念的阐述和基本原理的工程应用,强调土力学是一门技术科学,重要的是在实际工程中如何将土力学基本理论加以运用。

在内容安排上注意兼顾土建、道路、市政、水利等工程领域的需要。教学时数各校可根据具体情况灵活选用,如打“*”号的内容可以不作为教学要求,或用于因材施教。特殊土工程性质将在本教材姐妹篇《基础工程》一书中特殊土地基基础工程部分介绍。

限于编者水平和能力,本教材中肯定有不少不当甚至错误之处,诚恳欢迎读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 土力学研究对象及其重要性	1
1.2 土力学学科特点	2
1.3 土力学发展概况	2
1.4 土力学课程内容和学习方法	3
第 2 章 土的物理性质与工程分类	4
2.1 概述	4
2.2 土的成因与组成	4
2.2.1 形成作用与成因类型	4
2.2.2 土的组成	5
2.3 土的物理性质指标	12
2.4 无黏性土的物理性质	16
2.5 黏性土的物理性质	18
2.5.1 界限含水量	18
2.5.2 塑性指数和液性指数	20
2.5.3 黏性土的活动性指数	20
2.6 土的结构性	21
2.6.1 土的结构与构造	21
2.6.2 黏性土的灵敏度和触变性	22
2.7 土的压实性	23
2.7.1 细料土的压实性	23
2.7.2 粗粒土的压实性	26
2.8 土的工程分类	26
2.8.1 土的工程分类原则	26
2.8.2 我国土的工程分类	27
习题和思考题	30
参考文献	31
第 3 章 土的渗透性与土中水的渗流	32
3.1 概述	32
3.2 达西定律	33
3.2.1 一维渗流试验与达西定律	33
3.2.2 关于土中水的渗透流速	34
3.2.3 达西定律的适用范围	34
3.3 土的渗透系数	35

3.3.1	土的渗透系数的影响因素	35
3.3.2	土渗透系数的范围	37
3.3.3	确定土的渗透系数的试验	37
3.3.4	分层土的等效渗透系数	40
3.4	饱和土中的应力和有效应力原理	45
3.5	渗透力与渗透变形	47
3.5.1	渗透力	47
3.5.2	流土及其临界水力坡降	48
3.5.3	管涌	50
3.5.4	渗透变形的类型	51
3.5.5	渗透变形的防治	52
3.6	二维渗流与流网	52
3.6.1	二维渗流运动微分方程	52
3.6.2	流网的绘制原理与规则	53
3.6.3	流网的绘制方法	53
3.6.4	流网的特性与应用	54
	习题与思考题	55
	参考文献	58
第4章	地基中应力与计算	59
4.1	概述	59
4.2	地基中自重应力计算	60
4.3	基底压力的分布与计算	62
4.3.1	基底压力的分布规律	62
4.3.2	基底压力的简化计算	63
4.4	荷载作用下地基中附加应力计算	65
4.4.1	竖向集中力作用下地基中附加应力计算	66
4.4.2	地面上作用有分布荷载时地基中附加应力计算	68
4.5	关于地基中附加应力计算的简要讨论	79
	习题与思考题	81
	参考文献	83
第5章	土的压缩性与固结理论	84
5.1	概述	84
5.2	土的压缩特性	84
5.2.1	土的压缩试验和压缩曲线	85
5.2.2	土的压缩系数和压缩指数	86
5.2.3	土的压缩模量和体积压缩系数	87
5.2.4	土的变形模量	88
5.2.5	土的回弹与再压缩曲线	89
5.3	应力历史与土压缩性的关系	90

5.3.1	先期固结压力及卡萨格兰德 (Casagrande) 法	90
5.3.2	土的超固结比及固结状态	91
5.3.3	土的原始压缩曲线与压缩指标	91
5.4	一维固结理论	92
5.4.1	太沙基一维固结模型	93
5.4.2	太沙基一维固结方程及其解	94
5.4.3	初始超静孔压非均布时的一维固结解	98
5.4.4	一维固结理论的应用	99
	习题与思考题	108
	参考文献	109
第6章	地基沉降与计算	110
6.1	概述	110
6.2	地基沉降原理	110
6.3	弹性理论法	111
6.4	分层总和法	113
6.4.1	普通分层总和法	113
6.4.2	考虑前期固结压力的分层总和法	116
6.4.3	建筑地基基础设计规范法	117
6.5	次固结沉降计算方法	123
6.6	根据实测沉降推算地基最终沉降的方法	124
6.6.1	双曲线配合法	124
6.6.2	指数曲线配合法	124
6.6.3	$\Delta s/\Delta t$ 法	125
	习题与思考题	125
	参考文献	127
第7章	土的抗剪强度	128
7.1	概述	128
7.2	土的抗剪强度理论和极限平衡条件	128
7.2.1	摩尔-库伦强度理论	128
7.2.2	土的抗剪强度与抗剪强度指标	129
7.2.3	极限平衡条件	130
7.3	土的抗剪强度指标和抗剪强度的测定	131
7.3.1	直接剪切试验	131
7.3.2	常规三轴压缩试验 (Triaxial Shear Test)	132
7.3.3	无侧限抗压强度试验	135
7.3.4	十字板剪切试验	136
7.4	饱和黏性土抗剪强度	137
7.4.1	孔隙水压力系数	137
7.4.2	正常固结土和超固结土的抗剪强度	139

7.4.3	饱和黏性土地基中土体的抗剪强度	140
7.5	未饱和黏性土抗剪强度	141
7.6	无黏性土抗剪强度	141
7.7	抗剪强度的影响因素	142
7.7.1	土的结构性的影响	143
7.7.2	应力历史的影响	143
7.7.3	应力路径的影响	143
7.7.4	土体各向异性的影响	144
7.7.5	中主应力的影响	144
7.7.6	加荷速率的影响	145
7.7.7	蠕变对土体抗剪强度的影响	145
7.7.8	土体固结对黏性土抗剪强度的影响	145
	习题与思考题	146
	参考文献	146
第8章	土压力及支挡结构	147
8.1	概述	147
8.2	静止土压力计算	149
8.3	主动土压力计算	151
8.3.1	Rankine 主动土压力理论	152
8.3.2	Coulomb 主动土压力理论	157
8.3.3	Culmann 图解法确定主动土压力	161
8.4	被动土压力计算	164
8.4.1	Rankine 被动土压力理论	164
8.4.2	Coulomb 被动土压力计算	166
8.5	土压力计算的讨论	167
8.5.1	非极限状态下的土压力	167
8.5.2	土拱效应	168
8.5.3	Rankine 与 Coulomb 土压力理论的比较	168
8.6	重力式挡土结构	169
8.7	柔性挡土结构	173
8.8	加筋土挡土结构	175
8.8.1	加筋土挡土墙的构造	175
8.8.2	设计步骤	176
8.8.3	内部稳定性验算	176
8.8.4	外部稳定性分析	179
8.8.5	整体稳定性分析	182
8.9	管涵上的土压力计算	183
8.9.1	沟埋式管涵上的土压力	183
8.9.2	上埋式管涵上的土压力	184

习题与思考题	185
参考文献	187
第9章 地基承载力	189
9.1 概述	189
9.2 地基破坏模式	190
9.2.1 三种破坏形式	190
9.2.2 破坏模式的影响因素和判别	191
9.3 地基临界荷载	192
9.3.1 地基变形的三个阶段	192
9.3.2 临塑荷载 P_{cr}	194
9.3.3 塑性荷载 $P_{\frac{1}{3}}$ 、 $P_{\frac{1}{4}}$	196
9.4 理论公式确定地基极限承载力	198
9.4.1 普朗德尔极限承载力理论解	198
9.4.2 太沙基极限承载力理论	200
9.4.3 梅耶霍夫极限承载力理论	204
9.5 原位测试确定地基承载力特征值	207
9.5.1 载荷试验	207
9.5.2 静力触探	209
9.5.3 动力触探	210
9.5.4 标准贯入试验	211
9.6 规范法确定地基承载力特征值	212
9.6.1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011	213
9.6.2 《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5—2005	215
习题和思考题	218
参考文献	219
第10章 土坡稳定分析	220
10.1 概述	220
10.2 安全系数	222
10.3 无限土坡的稳定分析	222
10.3.1 无渗透水流时	222
10.3.2 有渗透水流时	224
10.4 平面滑动面土坡的稳定分析 (Culmann 法)	226
10.5 圆弧滑动面土坡的稳定分析	228
10.5.1 整体圆弧法	229
10.5.2 条分法	237
10.6 复合滑动面土坡的稳定分析	242
10.7 稳定渗流和地震条件下土坡的稳定分析	243
10.7.1 稳定渗流作用下土坡的稳定分析	244
10.7.2 地震对土坡稳定的影响	246

10.8 孔隙水压力的估算和抗剪强度指标的选用·····	248
10.8.1 临界状态分析·····	248
10.8.2 孔隙水压力的估算·····	252
10.8.3 抗剪强度的取值·····	254
10.9 滑坡的防治和土坡稳定的安全系数·····	255
习题和思考题·····	256
参考文献·····	257

第 1 章 绪 论

1.1 土力学研究对象及其重要性

地壳是人类赖以生存的地球中固体圈层的最外层，主要由岩石构成，其平均厚度约为 17km，其中大陆地壳平均厚度约 35km，而海洋地壳平均仅约厚 7km。土力学研究的对象就是地壳表层中的土体。

土是由地壳表层不同的岩石（主要有岩浆岩、变质岩和沉积岩）在物理的、化学的、生物的风化作用下，又经流水、冰川、风力等自然力的搬运、沉积作用而形成的自然历史产物。土的组成及其工程性质与母岩成分、风化作用性质和搬运沉积的环境条件有极其密切的关系。土的种类很多，按沉积条件可分为：残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖积土、海积土和风积土等。按土体中的有机质含量可分为无机土、有机土、泥炭质土和泥炭。按颗粒级配或塑性指数可分为碎石土、砂土、粉土和黏性土。根据土的工程特殊性质又可分为软黏土、杂填土、冲填土、素填土、黄土、红黏土、膨胀土、多年冻土、盐渍土、垃圾土、污染土等。土是多相体，由固相、液相和气相三部分组成。只有固相和液相两部分的称为饱和土。土中水形态也很复杂，有自由水、弱结合水、强结合水、结晶水等形态。从上述分析可以看到土力学的研究对象是非常复杂的。在研究中常常需要作一些简化假设，忽略一些次要因素。为了满足工程建设的要求，土力学主要研究土的物理力学性质、土的强度理论、渗透理论和变形理论，为工程建设服务。

“万丈高楼从地起”，所有的建（构）筑物，包括房屋、桥梁、道路、堤坝等，均建造在地壳表层（即地层，包括岩层和土层）上。除少数直接坐落在岩层上外，大部分坐落在土层上。受上述建（构）筑物荷载作用的地层土体，其性状对建（构）筑物的安全及正常使用必然有直接影响。不仅要求地基土体保持稳定，还要求地基土体的变形在允许的范围内。对国内外土木工程事故原因统计分析表明，由地基原因造成的土木工程事故所占比例较高。这里地基原因主要指在荷载作用下地基失稳、地基沉降或沉降差过大等，这些都与土的强度特性、变形特性和渗透特性有关。地基土作为自然历史的产物，其性质复杂多变，不仅土层分布不均匀，即使是同一层土，其物理力学性质也存在不均匀性。而且同一类土，分布地区不同，其工程性质也有差异。这就要求工程师根据工程具体情况应用土力学知识处理好地基基础问题。另外，地基基础部分在土木工程建设中所占投资比例不小，以软土地基上多层建筑为例，地基基础部分投资约占总投资的 25%~40%，甚至更多，而且该部分节约潜力大，应用土力学知识搞好地基基础设计和施工显得更加重要。上述分析表明：以土体作为研究对象的土力学在土木工程学科中具有非常重要的地位。土木工程师必须掌握土力学的理论知识和实际技能，才能正确解决土木工程中的地基基础技术问题。

1.2 土力学学科特点

土力学是土木工程学的一个分支，是应用材料力学、流体力学等基础知识研究土的工程性质以及研究与土有关的工程问题的技术学科，其主要任务是研究并解决地基土体的变形和稳定（强度）问题。土力学创始人太沙基（Terzaghi）晚年曾精辟地总结了土力学学科的特点，他指出：土力学不仅是一门科学，也是一门艺术。土力学学科这一特点是其研究对象——土的特性决定的。

前面已经谈到，土是自然历史的产物。由于各地质时期、各地区的风化环境、搬运和沉积条件的差异，不仅土类不同、土的工程性质不同，而且同一类土，地区不同其工程性质也可能有较大差异。土的种类多，工程性质复杂，因此，土力学的研究对象——土体与其他工程材料如钢材、塑料、混凝土等有很大的差异。土体的复杂性、区域性和个性决定了土力学的学科特点。

经典土力学的学科体系是建立在海相黏性土和石英砂的室内试验基础上的，由此建立的土力学原理具有一般性，也具有一定的特殊性。土类不同，土的工程性质差异很大，特别是特殊土，其工程性质有较大的特殊性，如湿陷性土、膨胀土、盐渍土等。应用土力学基础知识去研究其他土的工程性质和处理与其有关的工程问题时，一定要重视其特殊性。关于特殊土工程性质的特殊性将在基础工程课程中介绍。

在上节中已经谈到土的种类很多，而且在地基中分布很不均匀，因此，在应用土力学知识处理地基基础问题时，也需要重视工程地质勘察，重视土工试验，并重视工程师的经验。

20世纪60年代末至70年代初，人们将土力学、岩石力学、工程地质学三者结合为一体并应用于土木工程实践，称为岩土工程学科。1936年建立并由太沙基担任首届主席的国际土力学及基础工程协会现已改名为国际土力学及岩土工程协会。

1.3 土力学发展概况

土力学的发展可以划分为三个阶段：1925年以前，1925年至1960年左右，1960年左右至今。

通常认为太沙基（1925）出版的第一本《土力学》著作标志着土力学学科的形成。1925年以前土力学尚未形成一门学科，应该说是土力学形成学科的奠基阶段。在人类发展过程中，最早接触的工程材料就是土和岩石。在挖洞、筑堤、修路的过程常遇到土体的强度和稳定问题。工程实践可追溯到远古时代，如在我国西安半坡村新石器时代遗址就发掘出了土台和石础。有文字记载的，可称为理论的最早贡献通常认为是库伦（Coulomb）于1773年根据试验建立的库伦强度理论，随后还发展了库伦土压力理论。1856年，达西（Darcy）研究了砂土的渗透性，建立了达西渗透公式，即至今仍广为应用的达西定律。1857年朗肯（Rankine）研究了半无限体的极限平衡，随后发展了朗肯土压力理论。1885年布辛涅斯克（Boussinesq）求得了弹性半空间体在竖向集中力作用下应力和变形的理论解答。1922年弗伦纽斯（Fellenius）建立了极限平衡法，应用于土坡稳定分析。这些理论

的建立与发展为土力学学科的形成奠定了基础。到目前为止，库伦和朗肯土压力理论、弗伦纽斯条分法仍在堤坝、边坡和挡土墙设计中被广泛应用，而布辛涅斯克解一直是计算地基中附加应力的基本理论。

太沙基根据试验研究首先提出了超静孔隙水压力和有效应力概念，发展了有效应力原理，建立了土体一维固结理论，并于1925年出版了第一本《土力学》著作。该书的出版、发行标志着土力学学科的形成，并促使土力学进入近代大发展阶段。继太沙基后，卡萨格兰德 (Casagrande)、泰勒 (Taylor)、斯肯普顿 (Skempton) 以及世界各国许多学者对土的抗剪强度、土的变形、土的渗透性、土的应力—应变关系和破坏机理进行了大量研究工作，并逐渐将土力学的基本理论，普遍应用于解决各种不同条件下的工程问题。

20世纪60年代计算机及其应用的高速发展，有力促进了现代科学和技术的发展，土力学理论也不例外。计算机技术、计算技术以及现代测试技术的发展大大促进了土力学的发展，例如人们试图建立较复杂的考虑土的应力—应变—强度—时间关系的本构模型，并将其应用于具体的工程计算中，以得到更符合实际的结果来满足工程要求。现代土力学将在理论、数值计算、试验和工程应用几个领域中得到更大的发展，并相互促进，使土力学发展到一个新的水平。

1.4 土力学课程内容和学习方法

土力学课程内容包括：土的物理性质与工程分类，土的渗透性与渗流，地基中应力与计算，土的压缩性和固结理论，地基沉降计算，土的抗剪强度理论，土压力和支挡结构，地基承载力和土坡稳定分析等。

学习土力学不仅要重视理论知识的学习，还要重视土工试验和工程实例的分析研究。只有通过土工试验，通过工程实例分析才能逐步加深对土力学理论的认识、不断提高处理地基基础问题的能力。土的种类很多，工程性质很复杂，重要的不是一些具体的知识，而是要搞清土力学中的一些概念，而不要死记硬背某些条文和数字；土力学是一门技术学科，重要的是学会如何应用基本理论去解决具体工程问题，例如：学习一种分析土坡稳定的方法，不仅要掌握计算方法本身，而且要搞清该分析方法所采用的参数以及参数的测定方法，还要搞清其适用范围。应用土力学解决工程问题要重视理论、室内外测试和工程经验三者相结合，在学习土力学基本理论时就要牢固建立这一思想。

第2章 土的物理性质与工程分类

2.1 概述

土是岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒，经过不同的搬运方式，在各种自然环境中生成的没有粘结或弱粘结的沉积物。在漫长的地质年代中，由于各种内力和外力地质作用形成了许多类型的岩石和土。岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积生成土，而土历经压密固结、胶结硬化也可再生成岩石。

土的物质成分包括作为土骨架的固态颗粒、孔隙中的水及其溶解物质以及气体。因此，土是由颗粒（固相）、水（液相）和气（气相）所组成的三相体系。各种土的颗粒大小和矿物成分差别很大，土的三相间的数量比例也不尽相同，而且土粒与其周围的水又发生了复杂的物理化学作用，所以，要研究土的性质就必须了解土的三相组成以及在天然状态下土的结构和构造等特征。

土的三相组成物质的性质、相对含量以及土的结构构造等各种因素，会在土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态上有不同的反映。土的物理性质又在一定程度上决定了它的力学性质，所以物理性质是土的最基本的工程特性。

在处理地基基础问题和进行土力学计算时，不但要知道土的物理性质特征及其变化规律，从而了解各类土的特性，而且还必须掌握表示土的物理性质的各种指标的测定方法和指标间的相互换算关系，并熟悉土的有关特征和指标来制订地基土的分类方法。

本章主要介绍土的成因和组成、土的物理性质与状态指标、无黏性土与黏性土的物理特征、土的结构性、击实性以及地基土的工程分类。

2.2 土的成因与组成

2.2.1 形成作用与成因类型

（一）形成作用

在自然界，土的形成过程是十分复杂的，地壳表层的岩石在阳光、大气、水和生物等因素影响下，发生风化作用，使岩石崩解、破碎，经流水、风、冰川等动力搬运作用，在各种自然环境下沉积，形成土体，因此通常说土是岩石风化的产物。

风化作用主要包括物理风化和化学风化，它们经常是同时进行，而且是互相加剧发展的。物理风化是指由于温度变化、水的冻胀、波浪冲击、地震等引起的物理力使岩体崩解、碎裂的过程，这种作用使岩体逐渐变成细小的颗粒。化学风化是指岩体与空气、水和各种水溶液相作用的过程，这种作用不仅使岩石颗粒变细，更重要的是使岩石成分发生变化，形成大量细微颗粒（黏粒）和可溶盐类。化学风化常见的作用如下：

（1）水解作用——指矿物成分被分解，并与水进行化学成分的交流，形成新的矿物，

如正长石经水解作用后，形成高岭石；

(2) 水化作用——指水和某种矿物发生化学反应，形成新的矿物，如土中的 CaSO_4 (硬石膏) 水化后成为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (含水石膏)；

(3) 氧化作用——指某种矿物与氧结合形成新的矿物，如黄铁矿氧化后变成 FeSO_4 (铁矾)。

其他还有溶解作用、碳酸化作用等。

在自然界，岩石和土在其存在、搬运和沉积的各个过程中都在不断进行风化，由于形成条件、搬运方式和沉积环境不同，自然界的土也就有不同的成因类型。

(二) 土的主要成因类型及其基本特征

根据土的形成条件，常见的成因类型有：

(1) 残积土——岩石经风化后未被搬运而残留于原地的碎屑堆积物。它的基本特征是颗粒表面粗糙、多棱角、无分选、无层理。

(2) 坡积土——残积土受重力和暂时性流水(雨水、雪水)的作用，搬运到山坡或坡脚处沉积起来的土。坡积土粒度有一定的分选性和局部层理。

(3) 洪积土——残积土和坡积土受洪水冲刷、搬运，在山沟出口处或山前平原沉积下来的土。随离山远近有一定的分选性，颗粒有一定的磨圆。

(4) 冲积土——河流的流水作用搬运到河谷坡降平缓的地带沉积起来的土。这类土经过长距离的搬运，颗粒是有较好的分选性和磨圆度，常具有层理。

(5) 湖积土——在湖泊及沼泽等极为缓慢水流或静水条件下沉积起来的土。这类土除了含大量细微颗粒外，常伴有生物化学作用所形成的有机物，成为具有特殊性质的淤泥或淤泥质土。

(6) 海积土——由河流流水搬运到海洋环境下沉积下来的土。

(7) 风积土——由风力搬运形成的土，其颗粒磨圆度好，分选性好。我国西北黄土就是典型的风积土。

土的上述形成过程决定了它具有特殊物理力学性质，与一般建筑材料相比，土具有三个重要特点，即(1)散体性：颗粒之间无粘结或弱粘结，存在大量孔隙，可以透水透气；(2)多相性：土往往是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系，相、系之间质和量的变化直接影响它的工程性质；(3)自然变异性：土是在自然界漫长的地质历史时期演化形成的多矿物组合体，性质复杂，不均匀，且随时间还在不断变化的材料。

深刻理解、分析这些特点，可以帮助我们掌握土力学性质的本质。

2.2.2 土的组成

(一) 土的固体颗粒

土中固体颗粒(简称土粒)的大小和形状、矿物成分及其组成情况是决定土的物理力学性质的重要因素。粗颗粒往往是岩石经物理风化作用形成的碎屑，或是岩石中未产生化学变化的矿物颗粒，如石英和长石等；而细颗粒主要是化学风化作用形成的次生矿物和生成过程中混入的有机物质。粗颗粒其形状常呈块状或粒状，而细颗粒形状主要呈片状。土粒的组合情况就是大大小小土粒含量的相对数量关系。

1. 土的颗粒级配

土的固体颗粒都是由大小不同的土粒组成。土粒的粒径由粗到细变化时，土的性质相应地