



高等学校精品规划教材

土力学与 地基基础

张伯平 党进谦 编著

TULIXUE YU DIJI JICHU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校精品规划教材

土力学与地基基础

张伯平 党进谦 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据高等学校“土力学与地基基础”课程教学大纲编写的,共分十二章:土的物理性质和工程分类,土的渗透性与渗透变形,地基土中的应力计算,土的压缩性与基础的沉降计算,土的抗剪强度,土压力,土坡稳定分析,地基承载力,土的压实性和地基处理,建筑场地的工程地质勘察,天然地基浅基础的设计,桩基础及其他深基础。第一~第六章着重介绍了土力学的基本原理和计算方法,第七~第十二章主要介绍了应用这些原理和方法解决工程问题及地基基础勘察、设计和施工的技术。各章末附有复习思考题和习题,书末附有地质年代表及书中主要单位换算表。

本书可作高等学校水利水电、土木工程、工业与民用建筑、道路工程、地下工程、桥涵基础工程、港口码头工程和水土保持工程等专业学生教材,亦可供函授大学、电视大学、职业大学等同类专业选用,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/张伯平,党进谦编著. —北京:
中国水利水电出版社, 2006
高等学校精品规划教材
ISBN 7-5084-3970-8

I. 土... II. ①张... ②党... III. ①土力学—高等学校—教材②地基—基础(工程)—高等学校—教材
IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 086272 号

书 名	高等学校精品规划教材 土力学与地基基础
作 者	张伯平 党进谦 编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 20.5 印张 486 千字
版 次	2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	35.00 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

前 言

《土力学与地基基础》是水利水电工程、土木建筑工程、道路工程、市政工程、人防工程、桥涵基础工程、港口码头工程、地下工程及水土保持工程等各有关专业的一门重要课程，随着世界科学技术的发展和我国基础工程设施建设的加快，土力学理论和地基基础技术更显得重要。据统计，国内外发生的工程事故中，以地基基础事故为最多，而且由于地基基础往往是隐蔽工程，事故维修补救非常困难，所以本课程是各有关专业学生和工程技术人员必须很好掌握的一门科学。

本书是作者几十年从事该学科教学、科研和工程实践的理论总结 and 实际经验体会。同时吸收了本学科近年来国内外的研究成果和国家颁布实施的最新有关技术规范的重要内容。本书内容新颖，取材适宜，理论联系实际，在加强基本概念和基本原理论述的同时，特别注重基本理论在工程实践中的应用，加强了实用性和可操作性；力求概念清晰，层次分明，结构严谨，系统性强，用词规范准确，文字简洁，语言流畅，文图配合恰当，便于学生学习和自学。

本书内容共分十二章：土的物理性质和工程分类，土的渗透性与渗透变形，地基土中的应力计算，土的压缩性与基础的沉降计算，土的抗剪强度，土压力，土坡稳定分析，地基承载力，土的压实性和地基处理，建筑场地的工程地质勘察，天然地基浅基础的设计，桩基础及其他深基础。第一～第六章着重介绍了土力学的基本原理和计算方法，第七～第十二章主要介绍了应用这些原理和方法解决工程问题及地基基础勘察、设计和施工的技术。各章末附有复习思考题和习题，书末附有地质年代表和书中主要单位换算表。

书中内容标题上角标有“*”号的章节，表示可以根据专业特点和学时数的多寡予以选授。

本书适用于60～90学时讲授。

本书由西北农林科技大学水利与建筑工程学院张伯平教授构思统稿，由数位同志参加讨论、编写、绘图、审定和校对工作，其中：张伯平同志编写了绪论和第五～第八、第十一、第十二章内容；党进谦教授（西北农林科技

大学)编写了第一~第四章内容;李鹏副教授(西北农林科技大学)编写了第九、第十章内容;代亚丽副教授(西北农林科技大学)编写了各章复习思考题和习题;段存莲副教授(西北农林科技大学)和李茶清副教授(浙江水利水电专科学校)绘制了全书插图。李靖教授(西北农林科技大学博士生导师)和郭增玉教授(西安理工大学水电学院教授、博士生导师)对全书进行审定。

本书是根据全国统编教材编写大纲结合各有关院校专业实际情况编写的,在编写过程中主要参考了河海大学钱家欢教授主编的《土力学》,武汉水利电力大学冯国栋教授主编的《土力学》,清华大学陈希哲教授编著的《土力学地基与基础》,华南理工大学等四院校编的《地基及基础》,清华大学黄文熙教授主编的《土的工程性质》,西安理工大学谢定义教授编的《土动力学》,西安理工大学刘祖典教授编著的《黄土力学与工程》等教材和专著。本书在编著过程中得到各级领导和有关人员的大力支持和积极协助,很多同志为本书中有关章节提出了宝贵意见和建议。在此,对关心支持本书编写工作的同志及参考文献的作者,一并谨表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加之一些内容为近年科技新成果,书中不当之处,恳请各位专家和广大读者鉴正。

张伯平

2006年6月于西北农林科技大学

主要符号及单位

A ——基础底面面积(m^2)	l ——长度(m)
a ——压缩系数(MPa^{-1} 或 m^2/MN)	M_z ——作用于基础底面的力矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)
b ——基础底面宽度(m)	m ——质量(kg 或 t)
C_c ——压缩指数;曲率系数	N_{10} ——轻便触探试验锤击数
C_u ——不均匀系数	$N_{63.5}$ ——标准贯入试验锤击数
c ——黏聚力(kPa 或 kN/m^2)	n ——孔隙率($\%$)
c' ——有效应力黏聚力(kPa 或 kN/m^2)	p ——基底平均压力(kPa 或 kN/m^2)
c_v ——竖向固结系数(m^2/a)	p_0 ——基底附加压力(kPa 或 kN/m^2)、静止土压力强度(kN/m^2)
d ——土粒粒径(mm)或直径或基础埋置深度(m)	p_{sh} ——黄土湿陷起始压力(kPa 或 kN/m^2)
d_{10} ——土的有效粒径(mm)	p_a ——主动土压力强度(kPa 或 kN/m^2)
d_{60} ——土的控制粒径(mm)	p_p ——被动土压力强度(kPa 或 kN/m^2)
Dr ——粗粒土相对密度	P_a ——主动土压力(kN/m)
E ——变形模量(MPa)	P_0 ——静止土压力(kN/m)
E_s ——压缩模量(MPa)	P_p ——被动土压力(kN/m)
e ——孔隙比	P_u ——地基极限荷载(kPa 或 kN/m^2)
F ——竖向力(kN)	P_{cr} ——地基临塑荷载(kPa 或 kN/m^2)
f ——地基承载力设计值(kPa 或 kN/m^2)或称容许承载力	$[p]$ ——地基容许承载力(kPa 或 kN/m^2)
f_k ——地基承载力标准值(kPa 或 kN/m^2)	P ——基础上竖直荷载(kN)
f_0 ——地基承载力基本值(kPa 或 kN/m^2)	Q ——单桩轴向垂直力(kN)
G ——基础及其台阶上土的恒荷载(kN 或 kN/m)	q_s ——桩周土的摩擦力(kPa)
G_s ——土粒比重(或称土粒相对密度)	q_p ——桩端承载力(kPa)
h ——高度(m)	q_u ——无侧限抗压强度(kPa)
I_L ——液性指数(或称相对稠度)	R ——单桩垂直承载力设计值(kN)
I_p ——塑性指数	r ——半径(m)
K ——渗透系数或地基土附加应力系数	S_r ——饱和度
K_a ——主动土压力系数	S ——沉降量(mm)
K_0 ——土的侧压力系数或静止土压力系数	T_v ——时间因数
K_p ——被动土压力系数	$[T]$ ——单桩抗拔力(kN)
K_s ——安全系数	t ——重量(t 或 kN)
	U ——固结度
	u ——孔隙水压力(kPa 或 kN/m^2)
	u_p ——桩身周边长度(m)

V ——体积(m^3)
 v ——渗透速度(mm/s)
 W ——截面抗抵矩(m^3)
 w ——含水率($\%$)
 w_{L} ——液限含水率($\%$)
 w_{p} ——塑限含水率($\%$)
 z_{u} ——地基沉降计算深度(m)
 z ——深度(m)
 β ——填土表面倾角($^\circ$)
 γ ——土的重度或容重(kN/m^3)
 γ_{d} ——干土重度或干容重(kN/m^3)
 $\gamma_{\text{m}}, \gamma_{\text{sat}}$ ——饱和土重度或容重(kN/m^3)
 γ_{w} ——水的浮重度或有效重度或容重(kN/m^3)
 γ' ——土的浮重度或有效重度或浮容重(kN/m^3)
 δ ——土对挡土墙背的摩擦角或称外摩擦角($^\circ$)
 δ_{s} ——黄土地基湿陷系数
 e_{p} ——土的膨胀率
 e_{ps} ——土的自由膨胀率($\%$)

η_{b} ——基础宽度的承载力修正系数
 η_{d} ——基础埋深的承载力修正系数
 θ ——地基的压力扩散角($^\circ$)
 μ ——泊松比
 ρ ——土的密度(t/m^3), 挡土墙位移(mm), 圆弧曲率半径(mm)
 ρ_{d} ——干土密度(t/m^3)
 $\rho_{\text{m}}, \rho_{\text{sat}}$ ——饱和土密度(t/m^3)
 ρ_{w} ——水的密度(t/m^3)
 σ ——正应力(kPa 或 kN/m^2)
 σ_1, σ_3 ——大、小主应力(kPa 或 kN/m^2)
 σ_{s} ——自重应力(kPa 或 kN/m^2)
 σ_z ——土中附加应力(kPa 或 kN/m^2)
 σ' ——有效应力(kPa 或 kN/m^2)
 τ ——剪应力(kPa 或 kN/m^2)
 τ_{f} ——抗剪强度(kPa 或 kN/m^2)
 φ ——土的内摩擦角($^\circ$)
 φ' ——有效应力内摩擦角
 ψ ——沉降计算经验系数或称回归修正数
 ψ_1 ——采暖对冻深的影响系数

目 录

前言

主要符号及单位

绪论	1
1 本课程的任务、性质和特点	1
2 本学科的发展情况	1
第一章 土的物理性质和工程分类	3
1 土的形成	3
2 土的三相组成和结构	4
3 土的物理性质指标	12
4 土的物理状态指标	19
5 土的工程分类	22
复习思考题	26
习题	26
第二章 土的渗透性与渗透变形	28
1 概述	28
2 达西定律及其适用范围	29
3 渗透系数及其确定方法	30
4* 在静水和有渗流情况下的孔隙水应力和有效应力	35
5 渗透变形	39
6* 流网在渗透稳定计算中的应用	44
复习思考题	46
习题	46
第三章 地基土中的应力计算	48
1 概述	48
2 地基中的自重应力	49
3 基底压力的计算	51
4 地基中的附加应力	55
5* 感应图法求附加应力	70
6 讨论	72

复习思考题	73
习题	73
第四章 土的压缩性与基础的沉降计算	75
1 概述	75
2 土的压缩性	75
3 无侧向变形条件下的压缩量公式	78
4 基础的沉降计算	80
5 基础沉降计算的 $e-\lg p$ 曲线法	86
6 土的单向固结理论	94
复习思考题	103
习题	103
第五章 土的抗剪强度	105
1 概述	105
2 土的抗剪强度规律和极限平衡条件	106
3 土的剪切试验	110
4 总应力强度指标与有效应力强度指标	115
5* 剪切试验中土的性状	119
6* 三轴压缩试验中的孔隙应力系数	128
7 三轴试验中试样的应力路径	131
复习思考题	135
习题	136
第六章 土压力	138
1 土压力产生条件	138
2 朗肯土压力理论	140
3 库仑土压力理论	145
4 影响土压力计算值的一些因素	151
5 朗肯理论和库仑理论的比较	152
6* 减小主动土压力的措施	153
7* 板桩墙的土压力计算	155
复习思考题	159
习题	159
第七章 土坡稳定分析	161
1 概述	161
2 无黏性土土坡稳定分析	162
3 黏性土土坡的整体圆弧滑动	164
4 瑞典条分法	166
5 毕肖普法	168

6 泰勒图表法	171
7* 工程中的土坡稳定计算	174
8* 孔隙应力的估算	178
9* 复合滑动面土坡稳定分析	181
10* 讨论	183
复习思考题	186
习题	186
第八章 地基承载力	188
1 概述	188
2 按原位试验确定地基的承载力	189
3 按塑性区开展深度确定地基的容许承载力	194
4 确定地基极限承载力的理论公式	198
5 按国家标准确定地基的容许承载力	209
6* 影响地基承载力的因素	212
复习思考题	214
习题	214
第九章 土的压实性和地基处理	216
1 概述	216
2 土的压实性与机械压实法	218
3 地基处理一般方法简述	222
4 黄土地基	229
5 膨胀土地基	237
6* 红黏土地基	242
复习思考题	243
习题	243
第十章 建筑场地的工程地质勘察	244
1 工程地质概述	244
2 第四纪沉积层	244
3 不良地质条件	246
4 地下水	247
5 工程地质勘察的任务和内容	250
6 工程地质勘察的方法	255
7* 地基土的野外鉴别与描述	259
复习思考题	261
习题	261
第十一章 天然地基上浅基础的设计	263
1 概述	263

2 浅基础的类型	264
3 基础的埋置深度	269
4 地基承载力的确定	272
5 基础尺寸的设计	273
6 地基的验算	276
7 地基基础与上部结构共同工作的概念	278
8 钢筋混凝土梁板式基础的简化计算	280
9* 地基基础设计方案比较与有关措施	283
复习思考题	287
习题	288
第十二章 桩基础及其他深基础	290
1 概述	290
2 桩及桩基础的分类	290
3 桩的承载力	294
4 桩基设计	299
5 沉井基础	302
6 沉箱基础	306
7* 地下连续墙	308
8* 高层建筑深基础	309
复习思考题	311
习题	311
附录 1 地质年代表	313
附录 2 主要计量单位换算关系	314
参考文献	315

绪 论

1 本课程的任务、性质和特点

本课程是由《土力学》和《地基与基础》两门课程合并起来的新兴科学，其任务是学习掌握土力学的基本理论知识和土工实验技能并能应用于解决工程实际问题，及对建筑物的地基与基础进行勘察、设计和施工。

土是地球上第四纪沉积物，土与工程建筑的关系十分密切。归纳起来对于工程土有三种用途：第一类是把土体作为建筑物的地基，在土层上修建厂房、住宅、公路、水利工程等建筑物，由地基土承受上部建筑物荷载；第二类是用土作为材料，修筑堤坝、路基、空间填料等，这种情况下土就成为建筑材料；第三类是作为场地，为了建筑物的安全和正常使用，必须论证建筑场地的土力学环境和土体的稳定性。

建筑物的地基与基础是建筑物的根基，又属于地下隐蔽工程。它的勘察、设计和施工质量，不仅影响到工程的投资和进度，而且直接关系到建筑物的安全。

学习本课程，必须从研究土的物理与力学特性开始。土与钢材、木材等建筑材料有本质的区别，钢材、木材等都是连续介质，而土则是由矿物颗粒、液体水和空气三部分组成的不连续松散介质。土中固体颗粒之间存在大量孔隙，这些孔隙一般由水和空气充填，土中固体颗粒之间的联结强度远远小于颗粒本身的强度，土体的破坏往往不是土粒本身的破坏，而是土粒之间联结的破坏。所以，土为多孔（即存在孔隙）、多相（即孔隙中有水和空气）的松散体，这是土的基本特性。因此，土体具有碎散性、压缩性、固体颗粒间相对位移性和透水性等特点，这是研究土性的切入点。

由于自然界是千变万化的，作为自然界综合因素产物的土的性状变化是很复杂的。因此，土力学理论很多是依靠简化和假设而推导的，在处理工程中的土力学问题和地基基础设计及施工时，不能单凭数学和力学的方法，同时需要配合室内外的测试试验、实际观察、相似比较和经验判断。学生在学习本课程时不但要着重于基本概念的理解，掌握其计算原理和方法，而且应结合工程实际，学会分析问题和解决问题的方法，提高其能力，如识别土样，掌握常规室内试验方法，了解野外测试手段和方法，以及各种计算方法的基本假设和条件及可能引起的误差情况等，培养工程意识和从事工程及创新能力。

2 本学科的发展情况

早在几千年以前，人类就已经利用土进行建设。西安半坡村新石器时代遗址，发现土台和石器，就是古代的地基基础。公元前3世纪后期修建的万里长城，后来修建的南北大

运河、黄河大堤，以及无数宏伟的宫殿、寺院、宝塔等，都有坚固的地基和基础，经历了几百年或几千年的风雨沧桑和若干次地震的考验，留存至今。隋朝修建的河北赵州安济石拱桥，由一孔石拱横跨洺河，净跨 37.02 m，主拱肩部设置四个小拱、节省材料，又减轻了桥身自重，且造型美观，拱桥采用纵向并列砌筑法，28 道拱圈自成一体，桥宽达 8.4 m，桥上可以行车，桥台坐落在粉土天然地基上，基底压力约 500~600 kPa，经历 1300 多年，沉降与位移甚微，至今安然无恙。公元 989 年建造河南开封开宝寺木塔时，预计塔基土质不均匀会引起不均匀沉降，施工时特意做成倾斜，待沉降稳定后，塔身正好垂直。另外，四川各地古代至今采用的泥浆扩壁钻探法打盐井，西北地区在黄土中建窑洞，以及在建筑中用料石基垫、灰土地基等，都说明我国人民在长期生产生活实践中，积累了有关土力学及地基基础的极其宝贵的知识和经验。

18 世纪欧洲产业革命，极大地推动了土力学和基础工程的发展。1773 年，法国工程师库仑根据试验，创立了著名的土抗剪强度公式和土压力理论；1857 年，英国朗肯通过不同假定，提出了另一种土压力理论；1885 年，法国布辛尼斯克推导求得了半无限弹性体在垂直集中力作用下应力和变形的理论解答；1922 年，瑞典科学家费伦纽斯为解决铁路塌方，研究出了土坡稳定分析方法，这些理论和方法至今仍在广泛应用。1925 年，美国土力学专家太沙基总结了前人的试验研究成果，撰写了《土力学》专著，使土力学成为一门独立的学科进行研究和发展的。1936 年以来，每 4 年召开一届国际土力学与基础工程专门会议，先后提出了大量论文、研究报告和技术资料。很多国家定期出版土工期刊，世界各地也都经常召开类似的专业会议，不断总结和交流本学科的研究成果。

中华人民共和国诞生 50 多年来，为适应我国国民经济建设的需要，土力学与基础工程学科也有了迅速的发展。全国各地有关生产、科研和高等院校不断总结经验，开展室内外测试试验和理论研究。自 1958 年全国第一届土力学及基础工程学术会议至今，全国已交流土力学与地基基础工程学术论文数千篇，不少专家学者对土力学理论作出了巨大的贡献。如全国土力学及基础工程学会前理事长，清华大学黄文熙教授，早在 1957 年就研究提出了非均质地基考虑土侧向变形影响的沉降计算方法，并于 20 世纪 60 年代初期研制成功我国第一台振动三轴仪，提出了砂土液化的理论。

近年来，我国高土石坝（坝高大于 200 m）、高层建筑、高速公路、大型机场、港口工程、地下工程、核电站等巨型工程的兴建和多次强烈地震的发生，促使土力学和基础工程更进一步发展，有关单位积极研究土的本构关系、土的弹塑性性与黏弹性理论及土的动力特性。同时，很多单位分别研制成功各种各样的勘察、试验及地基处理的设备与技术，为土力学理论的研究和地基加固工程提供了良好的条件。随着电子计算机在岩土工程分析中的普遍应用和实验测试技术自动化程度的提高，标志着本学科进入一个新时代。可以预料，随着我国现代化建设步伐的加快和世界科学技术的发展，土力学与基础工程学科必将得到新的、更大的发展。

第一章 土的物理性质和工程分类

1 土 的 形 成

土是地壳表层母岩经受强烈风化（包括物理的、化学的和生物的）的产物，是各种矿物颗粒（土粒）的集合体。在自然界，土的形成过程是十分复杂的，可概括为风化、脱落、搬运和堆积四个过程。

风化包括物理风化、化学风化和生物风化。物理风化只能引起岩块的机械破碎，其产物基本上保持与母岩相同的成分，称为原生矿物，如石英、长石和云母等。砂、砾石和其他的粗粒土，主要是物理风化的产物。化学风化则是岩石发生质变，改变其原来岩石矿物成分，形成了次生矿物。各种组成黏性土的黏土矿物（蒙脱石、伊里石和高岭石等）都属次生矿物。生物风化则系动物和植物的活动对岩石的破坏。这三种风化作用往往是同时或相互交替进行的。

岩石风化后的产物堆积在原处，或经流水、风、冰川等地质作用搬运离开产地而堆积在其他任何可能的地方。岩石风化后仍留在原处的堆积物称为残积土；经搬运离开产地的堆积物称为运积土。残积土的深度和风化程度主要取决于气候条件和暴露时间。气候变化剧烈，残积土深度愈深；愈近地表，风化也愈厉害。残积土的明显特征是颗粒粗细不均，且多为角粒。母岩的种类对残积土的性质有显著影响。母岩质地优良，由物理风化生成的残积土，通常是坚硬和稳定的。如果母岩质地不良，残积土又是化学风化的产物，那么，它们往往比较松软，性质易变。

运积土的特征随搬运动力而异。大多数运积土是由水流冲积的，称为河流冲积土。流水所能带走的颗粒大小取决于流速，因此，大小不同的颗粒随着河流流速的改变可堆积在不同的地方，这就引起一定程度的颗粒分选。一般在河流上游或洪水期间沉积下来的颗粒较粗，下游或洪水过后沉积下来的颗粒较细，所以，在河流上游修建水工建筑物，常要考虑由于地基土的强透水性引起的渗漏和渗透变形问题。而在下游修建水工建筑物，常要考虑由于地基土的高压缩性和低强度引起的基础沉降和稳定问题，有时也得考虑渗透变形问题。尽管河流冲积土的颗粒组成和性质变化很大，但它们的共同特征是粗颗粒浑圆，表面光滑，同时层理分明。

由风力搬移形成的堆积物称为风积土。这种堆积物常在干旱和半干旱地区遇到，它的特征是没有层理，颗粒以细砂粒或粉粒为主，十分均匀。黄土被认为是一种风积土。典型黄土具有肉眼可见的竖直根孔，颗粒组成以带角的粉粒为主，常占总土量的60%~70%，并含有少量黏粒和盐类胶结物。当它未曾受过水浸泡时，含水率低，一般10%左右，即使很疏松，仍能维持陡壁或承受较大的建筑物荷载。可是，一经遇水，随着胶结强度的迅速降低，会在自重或建筑物荷载下剧烈下沉，黄土的这种性质称为湿陷性。荷载过大，破坏了粒间胶

结力,也会引起黄土结构崩解。因此,在黄土地基上修建水工建筑物,应谨慎从事。

由冰川搬运直接沉积下来的堆积物称为冰碛土。它们的主要特征是没有层理,颗粒变化范围很宽,从无塑性的石粉到巨大的漂石。粗颗粒的形状是亚圆的或略带棱角,有时还有磨光面。冰碛土的性质一般是不均一的,可用作土石坝的不透水填料。化学胶结的冰碛土,特别是经过冰荷载作用的冰碛土,具有很高的密实度,常是极好的建筑物地基。由冰川融化水冲积而成的堆积物,具有与河流冲积土类似的特征。

地壳表层的岩石经过风化及搬运后形成大小、形状、成分都不相同的松散颗粒集合体——土。土的形成经过漫长的地质历史,并在各种复杂的自然因素和地质作用下形成。随着时间、地点、存在环境及堆积方式的不同,形成土的种类也不同,其工程性质亦有很大区别,而且同一种土的工程性质又随它的存在状态和外界条件的变化而有很大的变化。因此,对土的工程性质评价时,必须重视土的形成历史、环境及存在条件。

大部分土都是岩石风化的产物,通常称为无机土。但在自然界中常有动植物残骸等有机质混入土中,由于有机质易于分解变质,故土中含有过量的有机质时,对土的物理力学性质将起不利影响。因此在工程中,常对所用土料的有机质含量提出一定的限制。

2 土的三相组成和结构

土是一种松散的颗粒堆积物,它由固相、液相和气相三部分组成。固相部分主要是土粒,有时还有粒间胶结物和有机质,它们构成土的骨架;液相部分为水及其溶解物;气相部分为空气和其他气体。

当土骨架的孔隙全部被水占满时,这种土称为饱和土;而当骨架的孔隙仅含空气时,就称为干土;当土骨架的孔隙中同时存在水和空气时,就称为湿土。饱和土和干土都属二相系,湿土属三相系。土的三相组成部分的相互作用和它们在数量上的比例关系,将决定土的物理力学性质。

2.1 土的固相

土的固相是由土粒构成的骨架部分,土粒的尺寸、形状、矿物成分及大小搭配情况对土的工程性质有明显的影响。

2.1.1 土粒粒组

土粒的大小与成土矿物之间存在着一定的相互关系。大小不同的土粒,其矿物成分不同,它们的性质也有很大的差异。因此,颗粒大小和矿物成分的不同,可使土具有不同的性质。例如,颗粒粗大的卵石、砾石和砂,大都为浑圆和棱角状的石英颗粒,具有较大的透水性,不具黏性。颗粒细小的黏粒,则是针状或片状的黏土矿物,具有黏性,透水性较低。

土是由无数大小不同的土粒所组成,逐个地测量土粒的大小是不可能的,通常是把大小相近的土粒合并为一组,称为粒组。划分粒组的依据是分界粒径——使土在性质上表现出明显差异的粒径。不同的粒组赋予土不同的性质。我国现用的粒组分界见表 1-1(各国对分界粒径的划分不尽相同)。表中给出了各粒组的范围和相应的特征。其中把大于 60mm 的土粒统称为巨粒组,不大于 0.075mm 的土粒统称为细粒组,0.075~60mm 的土粒称为粗粒组。

表 1-1

粒 组 划 分

粒 组 名 称		分界粒径 (mm)	主 要 特 征
巨粒组	漂石(块石)组	$d>200$	
	卵石(碎石)组	$200\geq d>60$	
粗粒组	砾(角砾)粒	粗砾	透水性大, 无黏性, 毛细管水上升高度很小, 不能保持水分
		中砾	
		细砾	
	砂粒	粗砂	无黏性, 易透水, 毛细管水上升高度不大, 无可塑性
		中砂	
		细砂	
细粒组	粉粒	$0.075\geq d>0.005$	透水性很小, 湿润时有微黏性, 毛细管水上升高度较大, 在水中易悬浮
	黏粒	$d\leq 0.005$	透水性极微, 有可塑性和黏性, 其性质随含水率有很大变化

2.1.2 土粒分析方法

实际上土常常是多种不同粒组的混合物, 显然, 土的性质取决于各不同粒组的相对含量。为了确定各粒组相对含量, 必须用试验方法(称颗粒分析试验)将各粒组区分开来。在工程实践中, 最常用的颗粒分析试验方法有筛析法和密度计法两种。

筛析法适用于粒径大于 0.075mm 的土。它用一套孔径不同的筛子, 从上到下, 筛孔逐渐减小。将事先称过重量的干土样过筛, 称出留存在各筛上的土粒重, 然后标出这些土粒重占总土粒重的百分数。密度计法适用于粒径小于 0.075mm 的土。方法是将少量细粒土放入水中, 大小不同的土粒在水中下沉的速度各不相同, 大粒下沉快而小粒下沉慢, 利用密度计测定不同时间土粒和水混合悬液的密度, 就可以计算出某一粒径的土粒对总土粒重的百分数。如土中同时含有粒径大于和小于 0.075mm 的土粒时, 则须联合使用上述两种方法。这时的试验结果, 如图 1-1 所示。颗粒分析试验的具体作法可参阅《土力学实验指导书》。

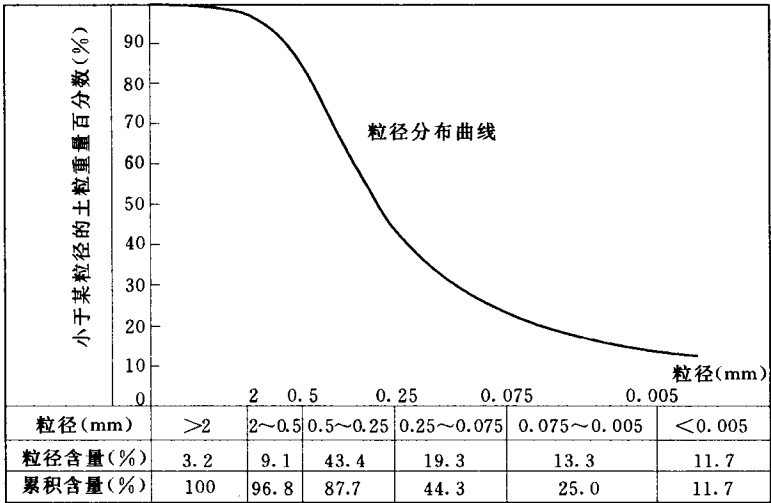


图 1-1 土的粒组含量及颗粒级配曲线

2.1.3 土的级配

土中各粒组的相对含量，用土粒总重的百分数表示，称为土的级配。土的级配好坏将直接影响土的性质。级配良好的土，压实时能达到较高的密实度，透水性小，强度高，压缩性低；反之，级配不良的土，往往压实密度小，强度低，渗透稳定性差。

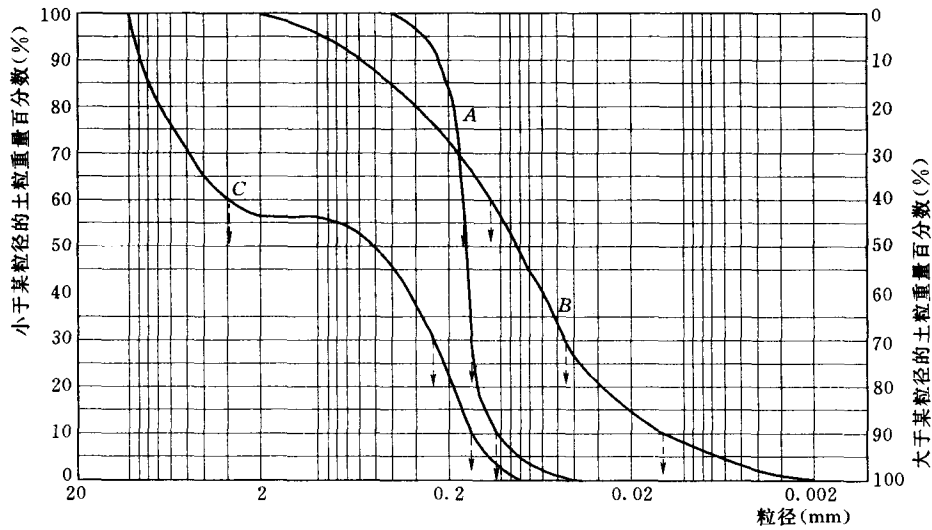
图 1-1 的表中最下两行就是表示土的级配，但为了直观起见，常将颗粒分析试验结果绘在半对数坐标纸中，用粒径分布曲线表示土的级配。曲线的纵坐标为小于某粒径土粒的累积重量，横坐标用对数尺度表示土粒的粒径。

必须指出，实际土粒的形状是各式各样的，很少呈球形，这里所说的土粒粒径是名义粒径。在筛析法中它是以筛孔径代表的，而在密度计法中是以与实际土粒在水中沉降速度相同的同样物质的球的直径代表的。

从土的粒径分布曲线上可以看出：

(1) 粒组范围及各粒组含量。如图 1-1 所示的曲线上，可以得到各粒组占总土粒含量分别为：砾粒 3.2%、砂粒 71.8%、粉粒 13.3%、黏粒 11.7%。

(2) 土粒分布情况。如图 1-2 所示曲线 A、B 及 C 分别代表三种土的颗粒大小分布情况。曲线 A 及 B 的坡度是渐变的，表示所代表的两种土的颗粒大小分布是连续的，颗粒大小搭配好。曲线 C 出现水平段，表示该土的颗粒大小分布不连续，缺乏某些中间粒径的土粒，颗粒大小搭配不好。通常用曲率系数 C_u 判别土中颗粒搭配的好坏。



单位：mm

土样编号	土粒组成 (%)				d_{60}	d_{10}	d_{30}	C_u	C_c
	10~2	2~0.075	0.075~0.005	<0.005					
A	0	99	1	0	0.165	0.11	0.15	1.5	1.24
B	0	66	30	4	0.115	0.012	0.044	9.6	1.49
C	44	56	0	0	3.00	0.15	0.25	20.0	0.14

图 1-2 几种土的颗粒级配曲线