

21 世纪高职高专系列教材

土力学及地基基础

中国机械工业教育协会 组编

主 编	金华职业技术学院	陈兰云
副主编	沈阳建筑工程学院	王 杰
	洛阳大学	丁梧秀
参 编	金华职业技术学院	朱建才 程显风
	江苏理工大学	胡 吉
	日照职业技术学院	于 军
主 审	大连理工大学	栾茂田



机械工业出版社

本书是 21 世纪高职高专系列教材中工业与民用建筑专业教材之一。

本书内容包括：土的物理性质与地基土分类、土中应力与地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、工程地质勘察、天然地基上浅基础设计、桩基础、地基处理和区域性地基及土工试验指导书、实训指导书等。为使读者加深理解，每章后均附有思考题或习题。本书从实用出发，通俗易懂，难度适宜，便于学习。

本书适用于高等职业技术学院、高等专科学校以及成教学院等大专层次的学生，也可作为广大自学者及工程技术人员的自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学及地基基础/中国机械工业教育协会组编. —北京：机械工业出版社，2001.5

21 世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-08431-4

2. 土... 1. 中... CIV①土力学—高等学校：技术学校—教材②地基—基础（工程）—高等学校—教材 . . .TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 08709 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：边 萌 版式设计：张世琴 责任校对：唐海燕

封面设计：姚 毅 责任印制：

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·11.5 印张·284 千字

0 001—4 100 册

定价：18.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

21 世纪高职高专系列教材编委会名单

编委会主任 中国机械工业教育协会 郝广发

编委会副主任（单位按笔画排）

山东工程学院 仪垂杰

大连理工大学 唐志宏

天津大学 周志刚

甘肃工业大学 路文江

江苏理工大学 杨继昌

成都航空职业技术学院 陈玉华

机械工业出版社 陈瑞藻（常务）

沈阳工业大学 李荣德

河北工业大学 檀润华

武汉船舶职业技术学院 郭江平

金华职业技术学院 余党军

编委会委员（单位按笔画排）

广州白云职业技术学院 谢瀚华

上海电机技术高等专科学校 徐余法

山东省职业技术教育师资培

训中心 邹培明

天津理工学院职业技术学院 沙洪均

天津中德职业技术学院 李大卫

日照职业技术学院 李连业

辽宁工学院职业技术学院 李居参

北京交通大学职业技术学院 佟立本

北京科技大学职业技术学院 马德青

北京建设职工大学 常莲

北京海淀走读大学 成运花

包头职业技术学院 郑刚

江苏理工大学成教学院 吴向阳

合肥联合大学 杨久志

同济大学 孙章

机械工业出版社 李超群

余茂祚（常务）

沈阳建筑工程学院 王宝金

河北工业大学 范顺成

佳木斯大学职业技术学院 王跃国

哈尔滨理工大学工业技术学院 线恒录

洛阳大学 吴锐

洛阳工学院职业技术学院 李德顺

南昌大学 肖玉梅

厦门大学 朱立秒

湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪

彭城职业大学 陈嘉莉

燕山大学 刘德有

序

1999年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议，作出了“关于深化教育改革、全面推进素质教育的决定”的重大决策。强调教育在综合国力的形成中处于基础地位，坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务；以适应社会需要为目标；以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案；以“应用”为主旨和特征来构建课程体系和教学内容体系；高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求；教材可以“一纲多本”，形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求，中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本（书目附书后）已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制（总学时1600-1800）兼顾2年制（总学时1100-1200）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为重点；专业课加强了针对性和实用性，强化了实践教学。为了扩大使用面，在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的，但每本教材又有各自的独立性。因此，各地区院校可根据自己的教学特点进行选择使用。

为了提高质量，真正编写出有显著特色的21世纪高职高专系列教材，组织编写队伍时，采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿，以便实践教学和理论教学相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验，出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材，在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合21世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

前 言

本书是根据教育部教高[2000]2号文件精神,为培养适应社会需要的高等职业技术应用性人才而编写的。编写者在编写中力图体现基础理论以必需、够用、能用的原则,加强应用性、实用性和针对性。在实验上改变过去实验指导书上将步骤详细列出,学生根据步骤作实验的做法,注意引导学生思考和自学,注重学生动手能力和实践能力的培养。

本书编写的主要依据为:《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—1989)、《建筑桩基技术规范》(JGJ94—1994)、《土工试验方法标准》(GBJ25—1990)、《岩土工程勘察规范》(GB50021—1994)、《混凝土结构设计规范》(GBJ10—1989)等。

由于我国各地区地基情况差别较大,本教材建议总学时安排64070学时,具体内容应根据本地区情况有所选择和侧重。特别是第9章、第10章可根据实际取舍,选择授课。本教材中增加了实训的内容,可根据当地情况将部分书中内容放在实训中讲解。

编写分工如下:第1章、第6章、第8章由金华职业技术学院陈兰云编写,第2章、第10章由金华职业技术学院朱建才编写,第3章由洛阳大学丁梧秀编写,第4章由沈阳建筑工程学院王杰编写,第5章由日照职业技术学院于军编写,第7章由金华职业技术学院程显风编写,第9章由江苏理工大学胡吉编写。全书由陈兰云主编和王杰、丁梧秀副主编进行统稿、修改。

本书由大连理工大学博士生导师栾茂田教授担任主审,栾教授认真、仔细地审查了全稿,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中得到金华职业技术学院领导和有关同仁的大力支持,在此深表感谢。

由于编写时间仓促及限于编者水平,书中定有不当或不妥之处,恳请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

目 录

序	中的附加应力	18
前言	3.3.2 均布矩形荷载作用下地基 中的附加应力	20
第 1 章 绪论	3.3.3 均布条形荷载作用下地基 中的附加应力	22
1.1 土力学与地基基础的概念	3.4 土的压缩性	25
1.2 学习本课程的重要性	3.5 基础最终沉降量计算	26
1.3 本课程的内容与学习要求	3.5.1 分层总和法	26
思考题	3.5.2 规范法	29
第 2 章 土的物理性质与地 基土分类	3.6 地基变形与时间的关系	32
2.1 土的成因与组成	3.6.1 土的渗透性	33
2.1.1 土的成因	3.6.2 土的有效应力原理	33
2.1.2 土的组成	3.6.3 渗透固结沉降与时间关系	33
2.1.3 土的特性	3.6.4 建筑物沉降观测	35
2.2 土的物理性质指标	3.7 建筑物的地基变形允许值	36
2.2.1 土的三相图	习题	37
2.2.2 基本指标	第 4 章 土的抗剪强度与地 基承载力	39
2.2.3 换算指标	4.1 土的抗剪强度	39
2.3 土的物理状态指标	4.1.1 抗剪强度的库仑定律	39
2.3.1 无粘性土的密实度	4.1.2 抗剪强度的构成因素	40
2.3.2 粘性土的物理特征	4.1.3 抗剪强度的影响因素	40
2.4 地基土(岩)的工程分类	4.2 土的强度理论——极限 平衡条件	41
思考题	4.2.1 土中某点的应力状态	41
习题	4.2.2 土体极限平衡条件	42
第 3 章 土中应力与地基 变形计算	4.3 抗剪强度指标的测定方法	44
3.1 自重应力	4.3.1 直剪试验	44
3.2 基底压力	4.3.2 三轴剪切试验	44
3.2.1 中心荷载作用下基底压力	4.3.3 无侧限压缩试验	45
3.2.2 单向偏心荷载作用下基底压力	4.4 不同排水条件时的剪切 试验方法	45
3.2.3 基底附加压力	4.4.1 抗剪强度的总应力法和有效 应力法表示	45
3.3 地基中附加应力	4.4.2 不同排水条件时的试验方法	46
3.3.1 竖向集中荷载作用下地基		

4.5 地基的变形与破坏	47	6.1.3 地下水	82
4.5.1 地基变形的三个阶段	47	6.2 工程地质勘察的目的	
4.5.2 临塑荷载	48	和任务	84
4.5.3 塑性荷载	49	6.2.1 选址勘察	84
4.6 地基承载力	49	6.2.2 初步勘察	84
4.6.1 规范法	49	6.2.3 详细勘察	84
4.6.2 承载力理论公式	53	6.3 工程地质勘探方法	85
4.6.3 现场原位测试	54	6.3.1 槽探、井探	85
4.6.4 经验方法	55	6.3.2 钻探、触探	85
思考题	55	6.3.3 地球物理勘探	89
习题	55	6.4 工程地质勘察报告	89
第 5 章 土压力与土坡稳定	56	6.4.1 工程地质勘察报告的编制	89
5.1 土压力	56	6.4.2 工程地质勘察报告的阅读	
5.1.1 静止土压力	56	和使用	89
5.1.2 主动土压力	57	6.5 验槽	90
5.1.3 被动土压力	57	6.5.1 观察验槽	90
5.2 朗肯土压力理论	58	6.5.2 夯、拍或轻便勘探	90
5.2.1 主动土压力	58	思考题	91
5.2.2 被动土压力	59	第 7 章 天然地基上浅基础设计 ...	92
5.2.3 常见情况下的土压力计算	61	7.1 地基基础设计的基本规定	92
5.3 库仑土压力理论	63	7.1.1 建筑物的安全等级	92
5.3.1 主动土压力	63	7.1.2 地基基础设计的一般要求	92
5.3.2 被动土压力	64	7.1.3 荷载取值	93
5.4 《建筑地基基础设计规范》		7.2 浅基础的类型	93
推荐计算方法	65	7.2.1 按材料分类	94
5.5 土坡稳定分析	68	7.2.2 按结构分类	95
5.5.1 无粘性土土坡稳定性分析	68	7.2.3 按受力分类	97
5.5.2 粘性土土坡稳定性分析	68	7.3 基础埋置深度的选择	97
5.5.3 人工边坡的确定	70	7.4 基础底面尺寸的确定	99
5.6 挡土墙设计	71	7.4.1 根据地基承载力确定底面尺寸	99
5.6.1 挡土墙的类型	71	7.4.2 验算地基软弱下卧层承载力	102
5.6.2 重力式挡土墙的计算	72	7.5 基础剖面尺寸的确定	103
5.6.3 重力式挡土墙的构造措施	77	7.5.1 刚性基础	103
思考题	78	7.5.2 扩展基础	105
习题	78	7.6 减轻建筑物不均匀沉降	
第 6 章 工程地质勘察	80	的措施	113
6.1 工程地质概述	80	7.6.1 建筑措施	113
6.1.1 地形和地貌	80	7.6.2 结构措施	115
6.1.2 地质构造	82	7.6.3 施工措施	115
6.1.3 地下水	82	思考题	115
6.2 工程地质勘察的目的			
和任务	84		
6.2.1 选址勘察	84		
6.2.2 初步勘察	84		
6.2.3 详细勘察	84		
6.3 工程地质勘探方法	85		
6.3.1 槽探、井探	85		
6.3.2 钻探、触探	85		
6.3.3 地球物理勘探	89		
6.4 工程地质勘察报告	89		
6.4.1 工程地质勘察报告的编制	89		
6.4.2 工程地质勘察报告的阅读			
和使用	89		
6.5 验槽	90		
6.5.1 观察验槽	90		
6.5.2 夯、拍或轻便勘探	90		
思考题	91		
第 7 章 天然地基上浅基础设计 ...	92		
7.1 地基基础设计的基本规定	92		
7.1.1 建筑物的安全等级	92		
7.1.2 地基基础设计的一般要求	92		
7.1.3 荷载取值	93		
7.2 浅基础的类型	93		
7.2.1 按材料分类	94		
7.2.2 按结构分类	95		
7.2.3 按受力分类	97		
7.3 基础埋置深度的选择	97		
7.4 基础底面尺寸的确定	99		
7.4.1 根据地基承载力确定底面尺寸	99		
7.4.2 验算地基软弱下卧层承载力	102		
7.5 基础剖面尺寸的确定	103		
7.5.1 刚性基础	103		
7.5.2 扩展基础	105		
7.6 减轻建筑物不均匀沉降			
的措施	113		
7.6.1 建筑措施	113		
7.6.2 结构措施	115		
7.6.3 施工措施	115		
思考题	115		

习题	115	9.7 旋喷法和深层搅拌法	155
第 8 章 桩基础	117	9.7.1 旋喷法	155
8.1 桩基础概述	117	9.7.2 深层搅拌法	157
8.1.1 桩基础的功能及适用条件	117	思考题	158
8.1.2 桩基础的类型	117	第 10 章 区域性地基	159
8.2 桩的竖向承载力	119	10.1 膨胀土地基	159
8.2.1 桩基设计原则	119	10.1.1 膨胀土的特征	159
8.2.2 单桩竖向极限承载力 标准值的确定	119	10.1.2 膨胀土地基的工程措施	159
8.2.3 桩基竖向承载力设计值	125	10.2 湿陷性黄土	160
8.2.4 桩的负摩阻力	127	10.2.1 湿陷性黄土的概念及特点	160
8.3 桩基础设计步骤和 基本要求	127	10.2.2 湿陷性发生的原因和 影响因素	160
8.4 其他深基础简介	139	10.2.3 湿陷性黄土地基的工程措施	161
8.4.1 沉井基础	140	10.3 红粘土地基	161
8.4.2 地下连续墙	141	10.3.1 红粘土的工程地质特征	162
思考题	141	10.3.2 红粘土地基的工程措施	162
习题	142	10.4 山区地基	162
第 9 章 地基处理	143	10.4.1 土岩组合地基	162
9.1 概述	143	10.4.2 岩溶	163
9.1.1 软弱土的种类和性质	143	10.4.3 土洞	163
9.1.2 地基处理技术综述	144	10.5 地震区地基基础问题	164
9.2 压实法及强夯法	145	10.5.1 地震概述	164
9.2.1 压实法	145	10.5.2 地基的地震震害现象	164
9.2.2 强夯法	146	10.5.3 地基基础抗震设计原 则及措施	165
9.3 换土垫层法	148	思考题	165
9.3.1 砂垫层的设计	148	土工试验指导书	166
9.3.2 砂垫层的施工	150	试验一 土的密度和含水量试验	166
9.4 挤密法和振冲法	150	试验二 土的塑限及液限试验	167
9.4.1 挤密法	150	试验三 压缩试验	168
9.4.2 振冲法	150	试验四 直接剪切试验	169
9.5 排水固结法	153	实训指导书	170
9.5.1 加固原理及适用范围	153	实训一 工程地质勘察	170
9.5.2 排水固结法的设计	154	实训二 验槽	171
9.5.3 排水固结法的施工	154	实训三 桩基础	172
9.5.4 质量检验	154	实训四 地基处理	172
9.6 化学加固法	154	参考文献	175
9.6.1 水泥浆液灌注法	155		
9.6.2 硅化法	155		

第 1 章 绪 论

1.1 土力学与地基基础的概念

当建筑物建造在地层上时，使地层中的应力状态发生改变。我们把因承受建筑物荷载而应力状态发生改变的土层称为地基，把建筑物荷载传递给地基的那部分结构称为基础。因此，地基和基础是两个不同的概念，地基属于地层，是支承建筑物的那一部分地层；基础则属于建筑物，是建筑物的一部分。由于建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生变化，因此土层发生变形。为了控制建筑物的沉降和保持其稳定性，就必须运用力学方法来研究荷载作用下地基土的变形和强度问题。研究土的特性以及土体在各种荷载作用下的性状的一门力学分支称为土力学，主要内容包括土中水的作用、土的渗透性、压缩性、固结、抗剪强度、土压力、地基承载力、土坡稳定等土体的力学问题。

地基中我们把直接与基础接触的土层称为持力层；持力层下受建筑物荷载影响范围内的土层称为下卧层，其相互关系如图 1-1 所示。

基础的结构形式很多，按埋置深度和施工方法的不同，可分为浅基础和深基础两大类。通常把埋置深度不大（一般为 5m），只需经过挖槽、排水等普通施工程序，采用一般施工方法和施工机械就可施工的基础统称为浅基础，如条形基础、单独基础、筏板基础等。而把基础埋置深度超过一定值，需借助特殊施工方法施工的基础称为深基础，如桩基础、地下连续墙、沉井基础等。地基基础设计时，如果土质不良，需要经过人工加固处理才能达到使用要求的地基称为人工地基；不加处理就可以满足使用要求的地基称为天然地基。

基础是建筑物的一个组成部分，基础的强度直接关系到建筑物的安全与使用。而地基的强度、变形和稳定更直接影响到基础以及建筑物的安全性、耐久性和正常使用。建筑物的上部结构与基础、地基三部分构成了一个既相互制约又共同工作的整体。目前，要把三部分完全统一起来进行设计计算还有困难，现阶段采用的常规设计方法是把建筑物的上部结构、基础、地基三部分分开，按照静力平衡原则，采用不同的假定进行分析计算，同时考虑地基—基础—建筑物的上部结构相互共同作用。

1.2 学习本课程的重要性

地基和基础是建筑物的根本，又位于地面以下，属地下隐蔽工程。它的勘察、设计以及施工质量的好坏，直接影响建筑物的安全，一旦发生质量事故，补救与处理都很困难，甚至不可挽救。此外，花费在地基与基础上的工程造价和工期在建筑物总造价和总工期中所占的

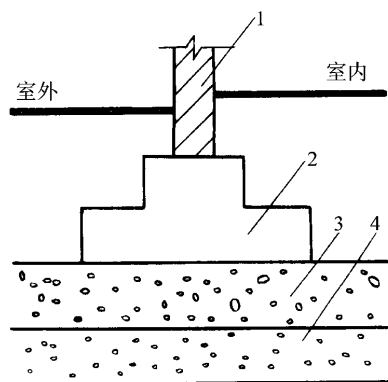


图 1-1 地基基础示意图

- 1—上部结构 2—基础
- 3—持力层 4—下卧层

比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以变动于百分之几到百分之几十之间,高的造价将近占总造价的 $1/3$,相应工期将近占总工期的 $1/4$ 。在中外建筑史上,有举不胜举的地基基础事故的例子,我国典型的例子有:

(1)上海锦江饭店北楼(原名华懋公寓),建于1929年,总层数为14层、高度为57m,是当时上海最高的一幢建筑物。基础座落在软土地基上,采用桩基础,由于工程承包商偷工减料,未按设计桩数施工,造成大幅度沉降,建筑物的绝对沉降达2.6m,致使原底层陷入地下,成了半地下室,严重影响使用。

(2)苏州虎丘塔——著名的中国斜塔,建于公元959年,7层,高47.5m,塔平面呈八角形,由外壁、回廊与塔心三部分组成,主体结构为砖木结构,采用黄泥砌砖,浅埋式独立砖墩基础,坐落在人工夯实的土夹石覆盖层上,覆盖层南薄北厚,变化范围从0.9m到3.6m,基岩弱风化。土夹石覆盖层压实后引起不均匀沉降,因不均匀沉降造成塔身倾斜,据实测塔顶偏中2.34m。由于过大的沉降差(根据塔顶偏中计算的不均匀沉降量应为66.9cm)引起塔楼从底层到第2层产生了宽达17cm的竖向劈裂;北侧壶门拱顶两侧裂缝发展到了第3层。砖墩压疏、碎裂、崩落,堪称危如累卵。经过精心治理,将危塔加固,使古塔得以保存。

(3)香港宝城大厦建在香港山坡上,1972年5月06月出现连续大暴雨,特别是6月份雨量竟高达1658.6mm,引起山坡因残积土软化而滑动。7月18日早晨7点钟,山坡下滑,冲毁高层建筑宝城大厦,居住在该大厦的120位银行界人士当场死亡,这一事故引起全世界的震惊,从而对岩土工程倍加重视。

1.3 本课程的内容与学习要求

本课程共有十章,第1章“绪论”和第2章“土的物理性质与地基土分类”是学习本课程的基础知识,第3章~第5章是土力学的基本原理部分,也是本课程的重要内容,要求了解土中应力分布及地基沉降的计算方法,学会用规范的方法计算地基沉降,掌握土的抗剪强度定律、抗剪强度指标的测试方法,了解土的极限平衡原理和条件,并学会应用规范确定地基承载力。要求了解土压力的概念及产生条件,学会一般情况下的土压力计算方法,懂得土坡稳定分析方法的基本概念。第6章~第10章为地基基础部分,包括工程地质勘察、浅基础设计、桩基础、地基处理和区域性地基的有关知识,要求能够运用土力学理论解决实际工程中经常遇到的一般性的地基基础问题。

通过学习本门课程,要达到以下基本要求:

- (1)掌握土的基本物理力学性质,了解常规的室内与现场土工的试验方法。
- (2)掌握天然地基上一般浅基础的简单设计方法或验算方法。
- (3)了解工程地质勘察的工作内容,初步具备地基土的野外鉴别能力,学会使用工程地质勘察报告书。
- (4)能够正确地使用《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—1989)(以下简称《地基规范》)及有关规范,解决地基基础设计中遇到的一般问题。

本课程是一门实践性与理论性均较强的课程。由于各种地基土形成的自然条件不同,性质也是千差万别,我国土地广阔,不同地区的土有不同的特性,即使同一地区的土,其特性也可能存在较大的差异。因此,在学习本课程时,要运用基本的理论知识来加强实践锻炼,

注重实训，紧紧抓住强度和变形这一核心问题来分析和处理实际工程中的地基基础问题，提高分析和解决问题的能力。

思 考 题

1. 土力学的研究对象和研究内容是什么？什么是地基？什么是基础？
2. 何谓天然地基？何谓人工地基？
3. 深基础与浅基础有何区别？
4. 什么是持力层？什么是下卧层？

第 2 章 土的物理性质与地基土分类

自然界中的土是由岩石经过长期的风化、搬运、沉积作用而形成的未胶结的、覆盖在地球表面的沉积物。土是由固体颗粒（固相）、水（液相）和气体（气相）三者组成的。土的物理性质主要取决于土的固体颗粒的矿物成分及大小、土的三相组成比例、土的结构以及土所处的物理状态。土的物理性质在一定程度上影响着土的力学性质，是土的最基本的工程特性。

本章主要介绍土的成因与组成、土的物理性质指标、物理状态指标以及地基土（岩）的工程分类。

2.1 土的成因与组成

2.1.1 土的成因

地壳表层的岩石长期暴露在大气中，经受气候的变化，会使岩石逐渐崩解，破碎成大小和形状不同的一些碎块，这个过程称为物理风化。物理风化后的产物与母岩具有相同的矿物成分，这种矿物称为原生矿物，如石英、长石、云母等。物理风化后形成的碎块与水、氧气、二氧化碳等物质接触，使岩石碎屑发生化学变化，这个过程称为化学风化。化学风化改变了原来组成矿物的成分，产生了与母岩矿物成分不同的次生矿物，如粘土矿物、铝铁氧化物和氢氧化物等。动植物和人类活动对岩石的破坏，称为生物风化，如植物的根对岩石的破坏、人类开山等，其矿物成分未发生变化。

根据形成时土所经受的外力及环境的不同，土具有各种各样的成因，不同成因类型的沉积物，具有各自一定的分布规律和工程地质特征，下面简单介绍其中主要的成因类型。

1. 残积物 残积物是指残留在原地未被搬运的那一部分原岩风化剥蚀后的产物。残积物与基岩之间没有明显的界限，一般是由基岩风化带直接过渡到新鲜基岩。残积物的主要工程地质特征为：均质性很差，土的物理力学性质一致性较差，颗粒一般较粗且带棱角，孔隙度较大，作为地基易引起不均匀沉降。

2. 坡积物 坡积物是雨雪水流的地质作用将高处岩石风化产物缓慢地洗刷剥蚀、沿着斜坡向下逐渐移动、沉积在平缓的山坡上而形成的沉积物。坡积物的主要工程地质特征为：会发生沿下卧基岩倾斜面滑动；土颗粒粗细混杂，土质不均匀，厚度变化大，作为地基易引起不均匀沉降；新近堆积的坡积物土质疏松，压缩性较高。

3. 洪积物 洪积物是由暂时性山洪急流挟带着大量碎屑物质堆积于山谷冲沟出口或山前倾斜平原而形成的沉积物。洪积物的主要工程地质特征为：洪积物常呈现不规则交错的层理构造，靠近山地的洪积物的颗粒较粗，地下水位埋藏较深，土的承载力一般较高，常为良好的天然地基。离山较远地段的洪积物颗粒较细、成分均匀、厚度较大、土质较为密实，一般也是良好的天然地基。

4. 冲积物 冲积物是江河流水的地质作用剥蚀两岸的基岩和沉积物，经搬运与沉积在平缓地带而形成的沉积物。冲积物可分为平原河谷冲积物、山区河谷冲积物和三角洲冲积

物。冲积物的主要工程地质特征为：平原河谷冲积物包括河床沉积物、河漫滩沉积物、河流阶地沉积物及古河道沉积物等。河床沉积物大多为中密砂砾，承载力较高，但必须注意河流的冲刷作用及凹岸边坡的稳定。河漫滩地段地下水埋藏较浅，下部为砂砾、卵石等粗粒土，上部一般为颗粒较细的土，局部夹有淤泥和泥炭，压缩性较高，承载力较低。河流阶地沉积物强度较高，一般可作为良好的地基。山区河谷冲积物颗粒较粗，一般为砂粒所充填的卵石、圆砾，在高阶地往往是岩石或坚硬土层，最适宜于作为天然地基。三角洲冲积物的颗粒较细，含水量大，呈饱和状态，有较厚的淤泥或淤泥质土分布，承载力较低。

2.1.2 土的组成

在天然状态下，自然界中的土是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系。固体颗粒构成土的骨架，骨架之间贯穿着孔隙，孔隙中填充有水和气体，因此，土也被称为三相孔隙介质。在自然界的每一个土单元中，这三部分所占的比例不是固定不变的，而是随着周围环境条件的变化而变化。土的三相比例不同，土的状态和工程性质也不相同。若土位于地下水水位线以下，则土中孔隙全部充满水时，称为饱和土；当土中孔隙没有水时，则称为干土；土中孔隙同时有水和气体存在时，称为非饱和土（湿土）。

1. 土的固体颗粒 土的固体颗粒是决定土的工程性质的主要成分，自然界中的土都是由大小不同的土颗粒组成，土颗粒的大小与土的性质密切相关。如土颗粒由粗变细，土的性质可由无粘性变为粘性，粒径大小在一定范围内的土，其矿物成分及性质都比较相近。因此，可将土中各种不同粒径的土粒，按适当的粒径范围，分为若干粒组，各个粒组的性质随分界尺寸的不同而呈现出一定质的变化。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径，我国习惯采用的粒组划分标准见表 2-1。表中按照界限粒径 200mm、20mm、2mm、0.075mm、0.005mm 把土粒分为六大粒组：漂石（块石）、卵石（碎石）、砾石、砂粒、粉粒和粘粒。土的颗粒级配是指工程上常以土中各个粒组的相对含量（各个粒组占土粒总量的百分数）来表示土粒的大小及其组成情况。

表 2-1 粒组划分标准

粒组名称	粒组范围/mm	粒组名称	粒组范围/mm
漂石（块石）粒组	1 200	砂粒粒组	0.075~2
卵石（碎石）粒组	20 0 200	粉粒粒组	0.005~0.075
砾石粒组	1 0 20	粘粒粒组	<0.005

确定各个粒组相对含量的颗粒分析试验方法分为筛分法和密度计法两种，粗颗粒土用筛分法，细颗粒土用密度计法。筛分法是用一套不同孔径的标准筛把各种粒组分离出来，目前最小孔径的筛是 0.075mm，筛分法适用于粒径小于等于 60mm、大于 0.075mm 的土。

根据颗粒大小分析试验结果，可以绘制颗粒级配曲线（图 2-1）。其横坐标表示粒径，由于土粒粒径相差悬殊，常在百倍、千倍以上，所以采用对数坐标表示；纵坐标则表示小于某粒径的土重含量（或累计百分含量），根据曲线的坡度和曲率可以大致判断土的级配状况。图中曲线 *a* 平缓，则表示粒径大小相差较大，土粒不均匀，即为级配良好；反之，曲线 *b* 较陡，则表示粒径的大小相差不大，土粒较均匀，即为级配不良。

工程上常用不均匀系数 C_u 来反映颗粒级配的不均匀程度。

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (2-1)$$

式中 d_{60} ——小于某粒径的土粒质量占土的总质量的 60% 时所对应的粒径，称为限定粒径；
 d_{10} ——小于某粒径的土粒质量占土的总质量的 10% 时所对应的粒径，称为有效粒径。

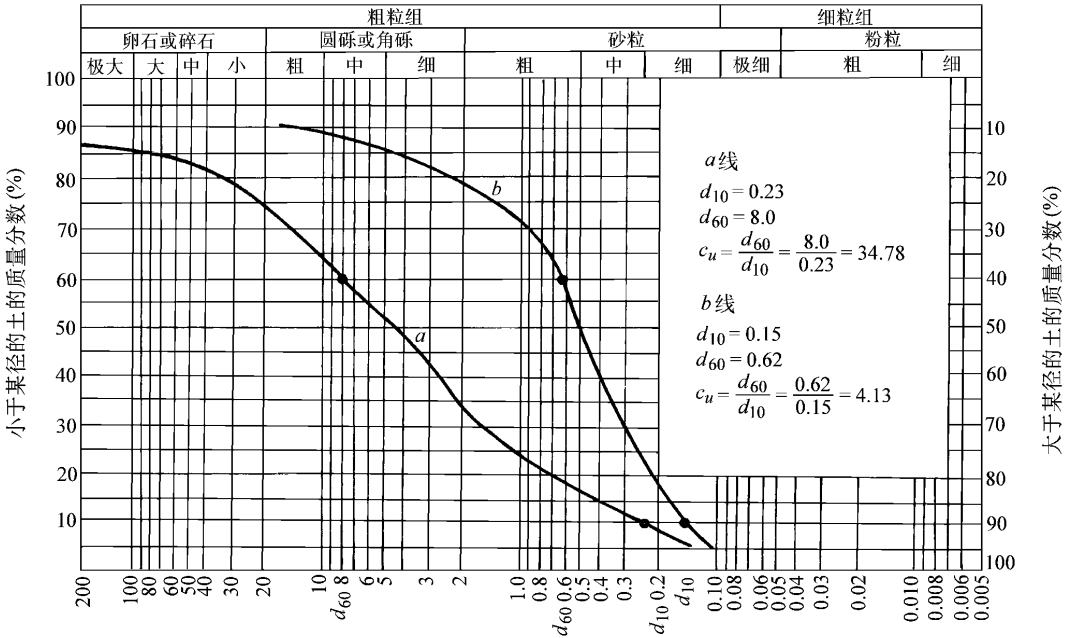


图 2-1 颗粒级配曲线

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况， C_u 越大表示土粒大小的分布范围越大，其级配越好，作为填方工程的土料时，比较容易获得较大的密实度。工程上一般把 C_u 15 的土称为级配不良的土； C_u 10 的土则称为级配良好的土。

2. 土中水 自然状态下，土中都含有水，土中水与土颗粒之间的相互作用对土的性质影响很大，而且土颗粒越细影响越大。土中液态水主要有结合水和自由水两大类。

(1) 结合水是指由土粒表面电分子吸引力吸附的土中水，根据其离土粒表面的距离又可以分为强结合水和弱结合水。

强结合水是指紧靠颗粒表面的结合水，厚度很薄，大约只有几个水分子的厚度。由于强结合水受到电场的吸引力很大，故在重力作用下不会流动，性质接近固体，不传递静水压力。强结合水的冰点远低于 0°C ，可达 -78°C ，在温度达 105°C 以上时才能蒸发。

弱结合水是在强结合水以外，电场作用范围以内的水。弱结合水仍受颗粒表面电分子吸引力影响，但其力较小，且随着距离的增大逐渐消失而过渡到自由水，这种水也不能传递静水压力，具有比自由水更大的粘滞性，它是一种粘滞水膜，可以因电场引力从一个土粒的周围转移到另一个土粒的周围，即弱结合水膜能发生变形，但不因重力作用而流动。弱结合水对粘性土的性质影响最大，当土中含有此种水时，土呈半固态，当含水量达到某一范围时，可使土变为塑态，具有可塑性。

(2) 自由水是指存在于土粒电场范围以外的水，自由水又可分为毛细水和重力水。

毛细水是受到水与空气交界处表面张力作用的自由水。毛细水位于地下水位以上的透

水层中，容易湿润地基造成地陷，特别在寒冷地区要注意因毛细水上升产生冻胀现象，地下室要采取防潮措施。

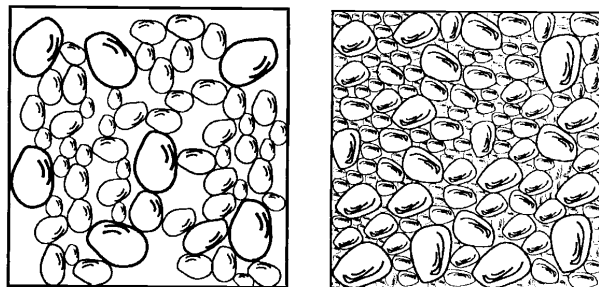
重力水是存在于地下水位以下透水层中的地下水，它是在重力或压力差作用下而运动的自由水。在地下水位以下的土，受重力水的浮力作用，土中的应力状态会发生改变。施工时，重力水对于基坑开挖、排水等方面会产生较大影响。

3. 土中气体 土中气体存在于土孔隙中未被水占据的部位。土中气体以两种形式存在，一种与大气相通，另一种则封闭在土孔隙中与大气隔绝。在接近地表的粗颗粒土中，土中孔隙的气体常与大气相通，它对土的力学性质影响不大。在细粒土中常存在与大气隔绝的封闭气泡，它不易逸出，因此增大了土的弹性和压缩性，同时降低了土的透水性。

对于淤泥和泥炭等有机质土，由于微生物的分解作用，在土中蓄积了甲烷等可燃气体，使土在自重作用下长期得不到压密，从而形成高压缩性土层。

4. 土的结构 土的结构是指由土粒单元的大小、形状、表面特征、相互排列及其联结关系等因素形成的综合特征。一般可分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

单粒结构是无粘性土的基本组成形式，由粗颗粒土（如卵石、砂等）在重力作用下沉积而成。因其颗粒较大，土粒间的分子吸引力相对很小，所以颗粒间几乎没有联结，有时仅有微弱的毛细水联结。单粒结构可以是疏松的（图 2-2a），也可以是紧密的（图 2-2b）。呈紧密状单粒结构的土，强度较大、压缩性较小，可作为良好的天然地基。呈疏松状单粒结构的土，当受到振动或其他外力作用时，土粒易于移动而产生很大的变形，未经处理，一般不易作为建筑物的地基。如果饱和和疏松的土是由细粒砂或粉粒砂所组成，在强烈的振动（如地震）作用下，土的结构会突然变成流动状态，产生砂土“液化”破坏。



a) 图 2-2 土的单粒结构

a) 疏松状态 b) 紧密状态

当较细的土粒（主要为粉粒）在水中因自重作用而下沉，碰到别的正在下沉或已经沉积的土颗粒时，由于它们之间的吸引力大于土粒重力，因而土粒将停留在接触面上不再下沉，形成了具有很大孔隙的蜂窝结构（图 2-3）。

絮状结构主要由粘粒集合体组成。粘粒在水中处于悬浮状态，不会因单个颗粒的自重而下沉。当这些悬浮在水中的粘粒被带到电解质浓度较大的环境中，粘粒凝聚成絮状的粘粒集合体下沉，并相继和已沉积的絮状集合体接触，而形成空隙很大的絮状结构（图 2-4）。

蜂窝结构和絮状结构的土中存在大量孔隙、压缩性高、抗剪强度低、透水性弱，其土粒之间的粘结力往往由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

2.1.3 土的特性

土与钢材、混凝土等连续介质相比，具有以下特性：

1. 高压缩性 由于土是一种松散的集合体，受压后孔隙显著减小，而钢筋属于晶体，混凝土属于胶结体，不存在孔隙被压缩的条件，故土的压缩性远远大于钢筋和混凝土等。

2. 强渗透性 由于土颗粒间存在孔隙，因此土的渗透性远比其他材料大，特别是粗粒

土具有很强的渗透性。

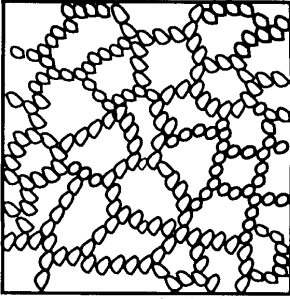


图 2-3 土的蜂窝结构

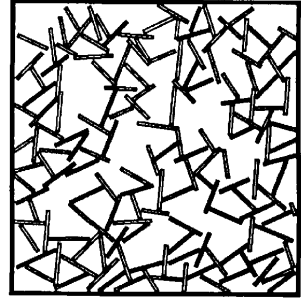


图 2-4 土的絮状结构

3. 低承载力 土颗粒之间孔隙具有较大的相对移动性，导致土的抗剪强度较低，而土体的承载力实质上取决于土的抗剪强度，故土的承载力较低。

土的压缩性高低和渗透性强弱是影响地基变形的两个重要因素，前者决定地基最终变形量的大小，后者决定基础沉降的快慢程度（即沉降与时间的关系）。

2.2 土的物理性质指标

描述土的三相物质在体积和质量上的比例关系的有关指标称为土的三相比例指标。三相比例指标反映着土的干和湿、松和密、软和硬等物理状态，是评价土的工程性质的最基本的物理指标，也是工程地质报告中不可缺少的基本内容。三相比例指标可分为两种，一种是基本指标，另一种是换算指标。

2.2.1 土的三相图

为了便于说明和计算，用三相组成示意图（图 2-5）来表示各部分之间的数量关系。三相图的右侧表示三相组成的体积关系；三相图的左侧表示三相组成的质量关系。

2.2.2 基本指标

土的三相比例指标中有三个指标可用土样进行试验测定，称为基本指标，也称为试验指标。

1. 土的密度 ρ 和重度 γ 单位体积内土的质量称为土的密度 ρ ，单位体积内土的重量称为土的重度 γ 。

$$\rho = m/V \quad (2-2)$$

$$\gamma = 1g \quad (2-3)$$

式中 g ——重力加速度，约等于 9.807m/s^2 ，一般在工程计算中近似取 $g = 10\text{m/s}^2$ 。密度的单位为 g/cm^3 或 t/m^3 ，重度的单位为 kN/m^3 。

天然状态下土的密度变化范围比较大，一般粘性土 $\rho = 1.80 \sim 2.0\text{g/cm}^3$ ，砂土 $\rho = 1.60 \sim 2.0\text{g/cm}^3$ 。粘性土的密度一般用“环刀法”测定。

2. 土粒相对密度 d_s 土粒质量与同体积的 4°C 时纯水的质量之比，称为土粒相对密度（无量纲），即

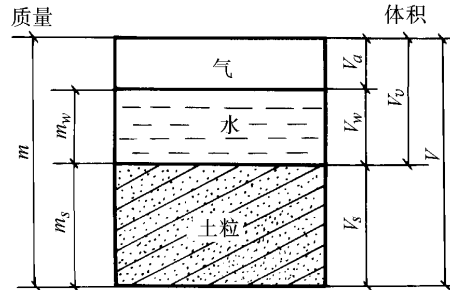


图 2-5 土的三相图

V —土的总体积 V_v —土的孔隙体积

V_s —土粒的体积 V_w —水的体积

V_a —气体的体积 m —土的总质量

m_s —土粒的质量 m_w —水的质量

$$d_s = m_s / V_s \rho_w = \rho_s / \rho_w \quad (2-4)$$

式中 ρ_s —— 土粒的密度 (t/m^3);

ρ_w —— 4℃ 时纯水的密度, 一般取 $\rho_w = 1 t/m^3$ 。

土粒相对密度的变化范围不大, 常用比重瓶法测定。土粒相对密度取决于土的矿物成分, 粘性土一般在 2.70 0 2.75 之间, 砂土一般在 2.65 左右。

3. 土的含水量 w 土中水的质量与土粒质量之比 (用百分数表示), 称为土的含水量, 即

$$w = (m_w / m_s) \times 100\% \quad (2-5)$$

含水量是标志土的湿度的一个重要物理指标。天然土层的含水量变化范围很大, 它与土的种类、埋藏条件及其所处的自然地理环境等有关。同一类土, 含水量越高, 则土越湿, 一般来说也就越软。

2.2.3 换算指标

在测出上述三个基本指标之后, 可根据图 2-5 所示的三相图, 经过换算求得下列 6 个指标, 称为换算指标。

1. 干密度 ρ_d 和干重度 γ_d 单位体积内土颗粒的质量称为土的干密度 ρ_d ; 单位体积内土颗粒的重量称为土的干重度 γ_d , 其计算公式为

$$\rho_d = m_s / V \quad (2-6)$$

$$\gamma_d = \rho_d g \quad (2-7)$$

在工程上常把干密度作为检测人工填土密实程度的指标, 以控制施工质量。

2. 土的饱和密度 ρ_{sat} 和饱和重度 γ_{sat} 饱和密度是指土中孔隙完全充满水时, 单位体积土的质量; 饱和重度是指土中孔隙完全充满水时, 单位体积内土的重量, 即

$$\rho_{sat} = (m_s + V_v \rho_w) / V \quad (2-8)$$

$$\gamma_{sat} = \rho_{sat} g \quad (2-9)$$

3. 土的有效密度 ρ' 和有效重度 γ' 土的有效密度是指在地下水位以下, 单位土体积中土粒的质量扣除土体排开同体积水的质量; 土的有效重度是指在地下水位以下, 单位土体积中土粒所受的重力扣除水的浮力, 即

$$\rho' = (m_s - V_v \rho_w) / V \quad (2-10)$$

$$\gamma' = \rho' g \quad (2-11)$$

4. 土的孔隙比 e 和孔隙率 n 孔隙比为土中孔隙体积与土粒体积之比, 用小数表示; 孔隙率为土中孔隙体积与土的总体积之比, 以百分数表示。

$$e = V_v / V_s \quad (2-12)$$

$$n = (V_v / V) \times 100\% \quad (2-13)$$

孔隙比是评价土的密实程度的重要物理性质指标。一般孔隙比小于 0.6 的土是低压缩性的土, 孔隙比大于 1.0 的是高压压缩性的土。在《地基规范》中确定粉土、粘性土承载力时, 一般作为第一指标。土的孔隙率也可用来表示土的密实程度。

5. 土的饱和度 S_r 土中水的体积与孔隙体积之比, 称为土的饱和度, 以百分率表示, 即

$$S_r = (V_w / V_v) \times 100\% \quad (2-14)$$