



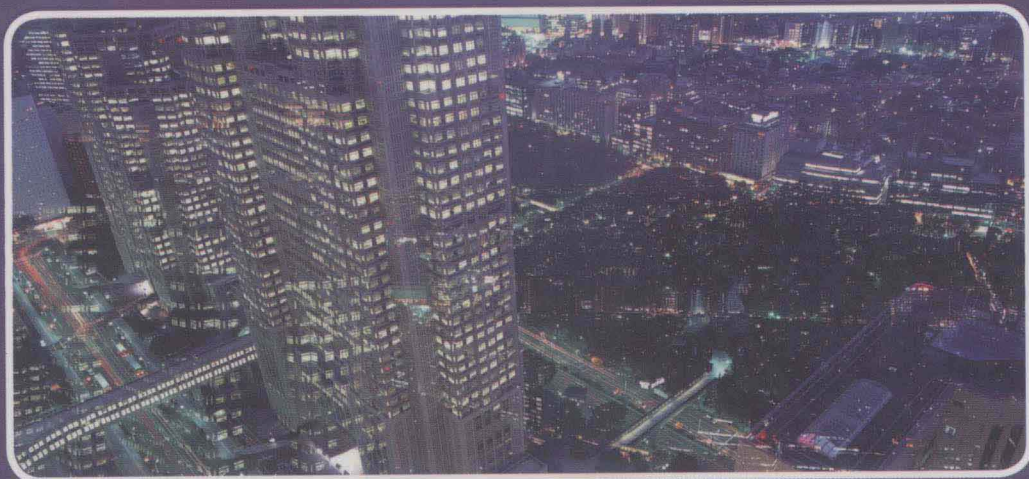
昆明冶金高等专科学校

KUNMING METALLURGY COLLEGE

国家示范性高职院校建设项目成果教材

地基基础 工程施工

裴利剑 郭秦渭 主编



科学出版社

www.sciencep.com

国家示范性高职院校建设项目成果教材

地基基础工程施工

裴利剑 郭秦渭 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据教育部教学改革的精神及《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002)等现行国家标准、行业标准编写。

本书符合职业教育特点,贯彻了理论“适度、够用”,技能培养为主的基本思想,介绍了岩土工程勘察、土方工程施工、浅基础工程施工、基坑工程施工、桩基工程施工和地基处理基本理论与施工方法,并在施工描述中插入了大量工程实例和职业活动训练。

本书可作为高职高专建筑工程技术专业教学用书,也可供相关专业的工程管理人员和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础工程施工/裴利剑,郭秦渭主编. —北京:科学出版社,2010
(国家示范性高职院校建设项目成果教材)

ISBN 978-7-03-029374-9

I. ①地… II. ①裴… ②郭… III. ①地基-基础(工程)-工程施工-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 210756 号

责任编辑:何舒民/责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉/封面设计:曹来

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 12 月第一次印刷 印张:15 1/2

印数:1—2 000 字数:380 000

定价:27.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137154 (VA03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

本书是根据当前教育部教学改革的精神，建筑施工类建筑工程技术专业课程改革新的课程体系要求，以及《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002)等现行的国家标准、行业标准，参考工程建设标准化协会标准和沿海地区地方标准实施而编写的。

全书共分为6章，主要内容包括认识岩土、土方工程施工、基坑工程施工、浅基础工程施工、桩基工程施工、地基处理。

本教材有以下主要特点：

1. 符合高职高专的教学特点，以理论“适度、够用”为原则编写教材。本书侧重施工工艺的适用性分析和施工工艺的流程介绍，尽量避免实用性差、理论深奥的知识讲述。

2. 内容全面。本书囊括了建筑地基基础工程的全部施工过程，为学生全面了解建筑地基基础工程施工、开阔职业视野提供帮助。

3. 实用性强。本书阐述了地基基础工程施工中各种施工方法的特点、适用范围、施工工艺流程、施工要点、施工质量验收等基本内容，为学生合理选用施工方法、制定施工方案、实施施工管理奠定了基础。

4. 时效性强。本书结合当前建筑工程企业常用的施工方法进行编写，删减了落后淘汰的施工工艺，适当引入了新型施工工艺。

本书由昆明冶金高等专科学校裴利剑、郭秦渭任主编，姚永仲、苏莲萍任副主编。具体编写分工为：姚永仲编写第1、2章；郭秦渭编写第3、4章；裴利剑编写第5章；苏莲萍编写第6章。全书由裴利剑统稿。

本书由昆明冶金高等专科学校时思担任主审，时思教授严谨、认真地审阅了稿件，并提出许多宝贵意见。编者在此表示诚挚的感谢。

由于本书内容较新，且编写时间较为仓促，并且限于编者水平和经验，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 认识岩土	1
1.1 概述	1
1.1.1 土的生成	1
1.1.2 土的组成	1
1.2 土的物理性质指标	5
1.2.1 土的基本物理性质指标	5
1.2.2 无黏性土的密实度	11
1.2.3 黏性土的稠度	12
1.3 地基土的工程分类	15
1.3.1 岩石	15
1.3.2 碎石土	16
1.3.3 砂土	17
1.3.4 粉土	18
1.3.5 黏性土	18
1.3.6 人工填土	19
1.4 岩土工程勘察	20
1.4.1 岩土工程勘察的目的	20
1.4.2 岩土工程勘察等级	21
1.5 各阶段勘察的内容与要求	22
1.5.1 可行性研究勘察	22
1.5.2 初步勘察	23
1.5.3 详细勘察	24
1.5.4 施工图勘察	25
1.6 岩土工程勘察方法	25
1.6.1 钻探	25
1.6.2 触探	26
1.6.3 挖探	29
1.7 地基土的野外鉴别与描述	30
1.7.1 土的野外鉴别	30
1.7.2 土的野外描述	31



1.8 岩土工程勘察成果报告	33
1.8.1 文字部分	33
1.8.2 图表部分	33
职业活动训练：岩土工程勘察报告阅读	33
习题	40
第2章 土方工程施工	42
2.1 概述	42
2.1.1 土方工程主要工作内容	42
2.1.2 土方工程的特点	42
2.2 基坑基槽土方量计算	42
2.2.1 边坡坡度 i	42
2.2.2 基槽土方量计算	43
2.2.3 基坑土方量计算	43
2.3 场地平整土方量计算	44
2.3.1 场地设计标高的确定	44
2.3.2 场地平整土方量的计算	46
2.4 土方调配方案	48
2.4.1 土方调配原则	49
2.4.2 土方调配区划分	49
2.4.3 土方调配图表的编制	49
2.5 土方机械化施工简介	50
2.5.1 土方机械选择要点	51
2.5.2 土方开挖机械选用	51
2.6 土方开挖	51
2.6.1 土方开挖准备工作	52
2.6.2 定位放线	52
2.6.3 基坑（槽）开挖	52
2.6.4 深基坑土方开挖	53
2.7 验槽	55
2.7.1 验槽的目的	55
2.7.2 验槽的内容	56
2.7.3 验槽的注意事项	57
2.8 土方填筑与压实	58
2.8.1 填筑要求	58
2.8.2 填土压实方法	58
2.8.3 填土压实要求	60



2.8.4 影响填土压实质量的因素	61
习题	62
第3章 基坑工程施工	65
3.1 概述	65
3.1.1 基坑工程的作用	65
3.1.2 基坑工程的特点	66
3.1.3 施工的基本技术要求	68
3.1.4 基坑工程施工	69
3.1.5 环境保护	70
3.1.6 安全风险管理	71
3.1.7 信息化施工	71
3.1.8 支护结构的破坏类型	72
3.1.9 基坑的安全等级	72
3.2 土钉墙支护技术	73
3.2.1 土钉墙的概念	73
3.2.2 土钉墙的基本结构	73
3.2.3 土钉墙的特点	74
3.2.4 土钉墙适用条件	75
3.2.5 土钉墙施工质量控制及检测要点	75
3.2.6 质量检测要点	81
3.2.7 土钉抗拔试验方法	81
工程应用实例：深圳市金稻田国际广场基坑支护	82
3.3 水泥土重力式围护墙支护	83
3.3.1 简述	83
3.3.2 水泥土重力式围护墙的类型与适用范围	84
3.3.3 水泥土的物理性质和力学特性	86
3.3.4 水泥土重力式围护墙的构造要求	89
3.3.5 双轴水泥土搅拌桩施工工艺	91
3.3.6 质量检验	95
工程应用实例：上海浦东新区某小区基坑围护	96
3.4 排桩支护及施工技术	99
3.4.1 排桩支护简述	99
3.4.2 排桩的施工要点	102
3.5 基坑降水	106
3.5.1 基坑降水的基本知识	106
3.5.2 井点降水的特点与布设	108



3.5.3 降水方法的选择及注意事项	115
3.5.4 基坑排水	116
职业活动训练：基坑支护实例阅读分析	118
职业活动训练：现场参观排水施工	120
习题	121
第4章 浅基础工程施工	123
4.1 基础工程的基本知识	123
4.1.1 基础材料	123
4.1.2 基础分类	124
4.1.3 基础埋置深度的影响因素	129
4.2 刚性基础的构造及施工技术	132
4.2.1 刚性基础的构造	132
4.2.2 刚性基础施工工艺及质量要求	135
4.3 钢筋混凝土基础构造及施工技术	137
4.3.1 钢筋混凝土基础构造	137
4.3.2 钢筋混凝土基础施工技术	140
4.4 地下室防水构造与施工	146
职业活动训练：刚性基础的施工方案编制	153
职业活动训练：刚性基础的现场检验	154
习题	154
第5章 桩基工程施工	157
5.1 桩的分类	157
5.1.1 按桩径大小分类	157
5.1.2 按桩的几何特性分类	157
5.1.3 按桩身材料分类	157
5.1.4 按承载性状分类	158
5.1.5 按成桩方法分类	159
5.1.6 按施工工艺分类	160
5.2 桩基选型原则	160
5.2.1 预制混凝土桩的特点和适用范围	160
5.2.2 灌注桩的特点和适用范围	164
5.2.3 钢桩的类型特点和适用范围	164
5.3 钢筋混凝土预制桩简介	165
5.3.1 无预应力混凝土桩	165
5.3.2 预应力混凝土管桩	166
5.3.3 预应力混凝土空心方桩	170



5.4 锤击桩施工	171
5.4.1 锤击桩特点及适用范围	171
5.4.2 锤击桩施工机械	171
5.4.3 锤击桩施工工艺	173
5.4.4 锤击桩施工要点	175
5.5 静压桩施工	176
5.5.1 静压桩特点及适用范围	176
5.5.2 静压桩施工机械	177
5.5.3 静压桩施工工艺	179
5.5.4 静压桩施工中的几个问题	179
5.6 正、反循环钻孔灌注桩施工	181
5.6.1 正、反循环钻孔灌注桩原理	181
5.6.2 正、反循环钻孔灌注桩特点及适用范围	182
5.6.3 反循环钻孔灌注桩施工机械设备	183
5.6.4 反循环钻孔灌注桩施工工艺	183
5.7 人工挖孔灌注桩施工	187
5.7.1 人工挖孔灌注桩特点及适用范围	187
5.7.2 人工挖孔灌注桩施工机具	187
5.7.3 人工挖孔灌注桩施工工艺	188
5.7.4 人工挖孔灌注桩安全措施	189
5.8 旋挖成孔灌注桩施工	190
5.8.1 旋挖成孔灌注桩特点及适用范围	190
5.8.2 旋挖成孔灌注桩施工机械与设备	191
5.8.3 旋挖成孔灌注桩施工工艺	194
5.9 长螺旋钻孔压灌桩	197
5.9.1 长螺旋钻孔压灌桩特点及适用范围	197
5.9.2 长螺旋钻孔压灌桩施工机械	197
5.9.3 长螺旋钻孔压灌桩施工工艺	199
5.10 水下灌注混凝土	201
职业活动训练: 桩基施工质量通病与防治专题讨论	202
习题	203
第6章 地基处理	206
6.1 概述	206
6.2 换填垫层法	208
6.2.1 换填垫层法简述	208
6.2.2 换填垫层法施工工艺	208



6.2.3 换填垫层法施工要点	210
6.2.4 质量检验	212
6.3 预压法	212
6.3.1 预压法特点及适用范围	212
6.3.2 砂井堆载预压法	213
6.3.3 袋装砂井堆载预压法	215
6.3.4 塑料排水带堆载预压法	217
6.3.5 真空预压法	220
6.4 强夯法	223
6.4.1 强夯法特点及适用范围	223
6.4.2 强夯法施工工艺	225
6.5 振冲法	226
6.5.1 振冲挤密法	227
6.5.2 振冲置换法	230
职业活动训练：施工现场参观	232
习题	234
附录 地基与基础工程常用标准、规范、规程和图集	236
主要参考文献	238



土是由岩石通过物理、化学、生物风化作用，并经过剥蚀、搬运、沉积交错复杂作用，所生成的各类沉积物。土的固相主要是由大小不同形状各异的多种矿物颗粒构成的，对有些土来讲除矿物颗粒外还含有有机质。土虽然是岩石风化后的产物，但具有一种明显区别于岩石的性质——散粒性。正是由于土的这一特性，决定了土与其他工程材料相比具有压缩性大、强度低、渗透性大的特点。

1.1 概 述

1.1.1 土的生成

在由岩石演变生成土的过程中，风化起到了重要的作用。风化作用与温度变化、雨、雪、山洪、河流、风、空气、生物等活动密切相关，一般分为物理风化和化学风化作用。由于温度变化，岩石胀缩开裂，崩解为碎块，属于物理风化作用，这种风化作用只改变颗粒的大小与形状，不改变其矿物成分；由于水溶液、大气等因素影响，使岩石的矿物成分不断溶解水化、氧化、碳酸盐化引起岩石的破碎，属于化学风化，这种风化作用使岩石的矿物成分发生改变，土的颗粒变细，产生次生矿物。

1.1.2 土的组成

天然状态下，土体一般由固相（固体颗粒）、液相（水）和气相（气体）三部分组成。特殊情况下，只有固体颗粒和水的土称为饱和土；只有固体颗粒和气体的土称为干土。

下面我们来说明一下固体颗粒、水和气体对土体工程性质的影响。

1. 土颗粒的大小与形状

自然界中土颗粒的大小相差悬殊，例如巨粒土漂石，粒径 $d > 200\text{mm}$ ，细粒土黏粒 $d < 0.005\text{mm}$ ，两者粒径相差超过 4 万倍。颗粒大小不同的土，它们的工程性质也各异。为便于研究，把土的粒径按性质相近的原则划分为 6 个粒组，见表 1.1。



表 1.1 土粒的粒组划分

粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
漂石或块石颗粒		>200	透水性大，无黏性，无毛细水
卵石或碎石颗粒		200~20	
圆砾或角砾颗粒	粗	20~10	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	10~5	
	细	5~2	
砂粒	粗	2~0.5	易透水，当混入云母等杂质时透水性减小，压缩性增加；无黏性，遇水不膨胀，干燥时松散；毛细水上升高度不大，随粒径变小而增大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.1	
	极细	0.1~0.075	
粉粒	粗	0.075~0.01	透水性小；湿时稍有黏性，遇水膨胀小，干时稍有收缩；毛细水上升高度较大较快，极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
黏粒		<0.005	透水性很小；湿时有黏性、可塑性，遇水膨胀大，干时收缩显著；毛细水上升高度大，但速度较慢

注：1) 漂石、卵石和圆砾颗粒呈一定的磨圆形状（圆形或亚圆形），块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。
2) 黏粒或称黏土粒，粉粒或称粉土粒。
3) 黏粒的粒径上限也有采用 0.002mm 的。

每个粒组之内土的工程性质相似。定性而言，通常粗粒土的压缩性低、强度高、渗透性大。

至于颗粒的形状，有的土带棱角的形状表面粗糙，不易滑动，因而其抗剪强度比表面圆滑的高。

自然界里的天然土，很少是一个粒组的土，往往由多个粒组混合而成，土的颗粒有粗有细。

工程中常用土中各粒组的相对含量，占总质量的百分数来表示，称为土的粒径级配。这是决定无黏性土的重要指标，是粗粒土的分类定名的标准。

粒径分析方法，工程中常用下列两种试验方法，互相配合使用。

- 1) 筛析法 适用于土粒直径 $d>0.075\text{mm}$ 的土。筛析法的主要设备为一套标准分析筛，筛子孔径分别为 20mm, 10mm, 5mm, 2.0mm, 1.0mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.075mm。
取样数量：粒径 $d<20\text{mm}$ ，可取 1000~2000g； $d<10\text{mm}$ ，可取 300~1000g； $d<2\text{mm}$ ，可取 100~300g。

将干土样倒入标准筛中，盖严上盖，置于筛析机上震筛 10~15min。由上而下顺序称各级筛上及底盘内试样的质量。

- 2) 密度计法 适用于土粒直径 $d<0.075\text{mm}$ 的土。密度计法的主要仪器为土壤密度计和容积为 1000mL 量筒。根据土粒直径大小不同，在水中沉降的速度也有不同的特性，将密度计放入悬液中，测记 0.5min, 1min, 2min, 5min, 15min, 30min, 60min, 120min 和 140min 的密度计读数，计算而得。

根据颗粒分析试验结果，绘制土的粒径级配曲线，如图 1.1 所示，纵坐标表示小

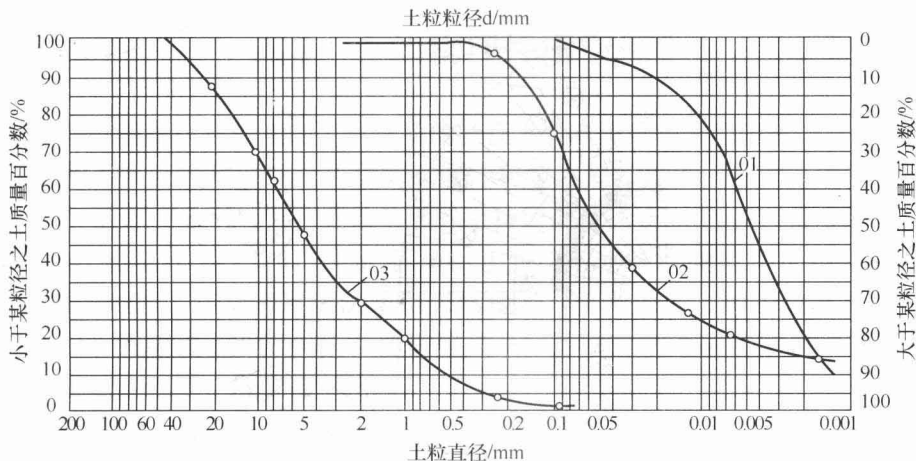


图 1.1 粒径级配曲线

于某粒径的土占总质量的百分数；横坐标表示土的粒径（采用对数坐标）。

例如，取工程的土样总质量为 1000g，经筛析后，知全部试样通过筛孔为 10mm 的筛，因此在横坐标为 10mm 处，其纵坐标为 100，为一试验点。而在筛孔为 5mm 的筛子上的颗粒质量为 50g，因而 $d < 5\text{mm}$ 的颗粒质量为 950g 占总质量的 95%，由横坐标为 5mm 与纵坐标 95% 之交点为第 2 个试验点。在筛孔为 2mm 的筛子上的颗粒质量称为 150g，则 $d < 2\text{mm}$ 的颗粒质量为 $1000 - 50 - 150 = 800\text{g}$ ，占总质量的 80%，因此，由横坐标为 2mm 与纵坐标 80% 之交点为第 3 个试验点。以此类推，即得粒径级配曲线。

粒径级配曲线上：纵坐标为 10% 所对应的粒径 d_{10} 称为有效粒径；纵坐标为 60% 所对应的粒径 d_{60} 。称为限定粒径， d_{60} 与 d_{10} 的比值称为不均匀系数 C_u ，即

$$C_u = d_{60} / d_{10} \quad (1.1)$$

不均匀系数 C_u 为表示土颗粒组成的重要特征。当 C_u 很小时曲线很陡，表示土均匀（级配不良）；当 C_u 很大时曲线平缓，表示土的级配良好。

曲率系数 C_c 为表示土颗粒组成的又一特征， C_c 按下式计算，即

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1.2)$$

式中， d_{30} ——粒径级配曲线上纵坐标为 30% 所对应的粒径。

砾石和砂土级配 $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 为级配良好；级配不同时满足 C_u 与 C_c 两个要求，则为级配不良。

2. 土中水

土的孔隙中有水，水分子 H_2O 为极性分子，由带正电荷的氢离子 H^+ 和带负电荷的氧离子 O^{2-} 组成。黏土粒表面带负电荷，在土粒周围形成电场，吸引水分子带正电荷的氢离子一端，使其定向排列，形成结合水膜，如图 1.2 所示。土中水分类如下。

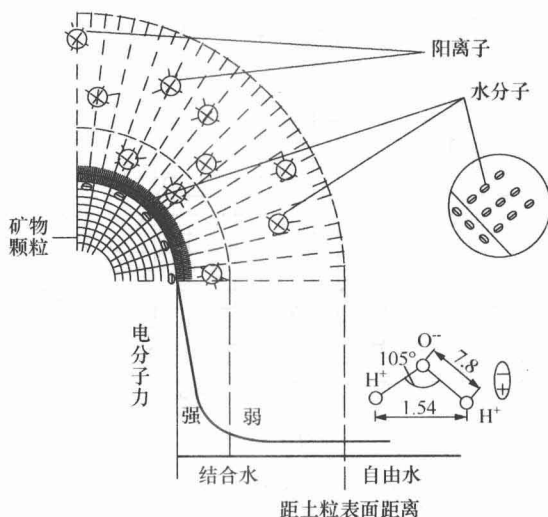


图 1.2 黏土矿物和水分子的相互作用

(1) 结合水

1) 强结合水(吸着水) 由黏土表面的电分子力牢固地吸引的水分子,并紧靠土粒表面,厚度只有几个水分子厚,小于 $0.003\mu\text{m}$ 。这种强结合水的性质与普通水不同:它的性质接近固体,不传递静水压力,不蒸发,密度 $\rho_w=1.2\sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$,并具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。当黏土只含强结合水时呈坚硬状态。

2) 弱结合水(薄膜水) 这种水在强结合水外侧,也是由黏土表面的电分子力吸引的水分子,其厚度小于 $0.5\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m}=0.001\text{mm}$),密度 $\rho_w=1.0\sim 1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。弱结合水也不传递静水压力,呈黏滞体状态,此部分水对黏性土的影响最大。

(2) 自由水

此种水离土粒较远,在土粒表面的电场作用以外的水分子自由散乱地排列。自由水包括下列两种:

1) 重力水 这种水位于地下水位以下,具有浮力的作用,可从总水头较高处向总水头较低处流动。

2) 毛细水 这种水位于地下水位以上,受毛细作用而上升,粉土中孔隙小,毛细水上升高。

3. 土中气体

土中气体分两种:

1) 自由气体 这种气体为与大气相连通的气体,通常在土层受力压缩时即逸出,故对建筑工程无影响。

2) 封闭气泡 封闭气泡与大气隔绝,存在黏性土中,当土层受荷载作用时,封闭气泡缩小,卸荷时又膨胀,使土体具有弹性,称为“橡皮土”,使土体的压实变得困难。若土中封闭气泡很多时,将使土的渗透性降低。



1.2 土的物理性质指标

土的物理性质指标反映土的工程性质的特征，具有重要的实用价值。

地基承载力数值的大小与地基基础的设计和施工紧密相关。例如，地基粉土的孔隙比 $e=0.8$ ，含水率 $w=10\%$ ，则地基承载力特征值可达 200kPa ，通常多层房屋可用天然地基；若孔隙比 $e=1.6$ ，含水率 $w=70\%$ ，则地基承载力特征值很低，小于 50kPa ，为软弱地基，多层房屋无法采用天然地基，要考虑人工加固地基或采用桩基桩。由此可见，孔隙比 e 和含水率 w 的数值大小，影响建筑地基基础的方案不同，随之而来施工方法、工期、造价都不相同。

前已定性说明：土中三相之间相互比例不同，土的工程性质也不同。现在需要定量研究三相之间的比例关系，即土的物理性质指标的物理意义和数值大小。

为了阐述和标记方便，把自然界中土的三相混合分布的情况分别集中起来：固相集中于下部，液相居中部，气相集中于上部，并按适当的比例画一个简图，左边标出各相的质量，右边标明各相的体积，如图 1.3 所示。

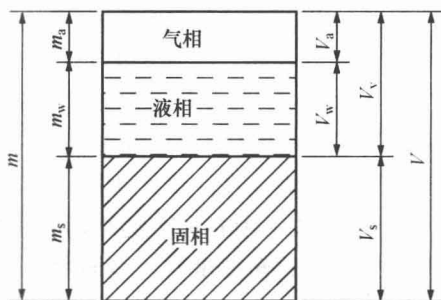


图 1.3 土的三相比例简图

下面分类阐述土的各项物理性质指标的名称、符号、物理意义、表达式、量纲、常见值及确定的方法。

1.2.1 土的基本物理性质指标

1. 土的密度 ρ 和土的重度 γ

(1) 物理意义

ρ 为单位体积土的质量，单位为 g/cm^3 。

γ 为单位体积土所受的重力，即 $\gamma = \rho g = (9.8 \sim 10)\rho$ ， kN/m^3 ，工程上常近似取重力加速度 $g = 10\text{m}/\text{s}^2$ 。

(2) 表达式

$$\rho = \frac{\text{土的总质量}}{\text{土的总体积}} = \frac{m}{V} \quad (1.3)$$

(3) 常见值

$$\rho = 1.6 \sim 2.2\text{g}/\text{cm}^3; \gamma = 16 \sim 22\text{kN}/\text{m}^3$$

(4) 测定方法

1) 环刀法 适用于黏性土和粉土。

用容积为 100cm^3 或 200cm^3 的环刀切土样，用天平称其质量而得。

2) 灌水法 适用于卵石、砾石与原状砂。

现场挖试坑，将挖出的试样装入容器，称其质量，再用塑料薄膜袋平铺于试坑内，



注水入薄膜袋，直至袋内水面与坑口齐平，注入的水量即为试坑的体积。

2. 土粒相对密度 d_s

(1) 物理意义

土中固体矿物的质量与同体积 4℃ 时的纯水质量的比值。

(2) 表达式

$$d_s = \frac{\text{固体颗粒密度}}{\text{纯水 } 4^\circ\text{C 时的密度}} = \frac{m_s/V_s}{\rho_w(4^\circ\text{C})} \quad (1.4)$$

(3) 常见值

砂土 $d_s = 2.65 \sim 2.69$

粉土 $d_s = 2.70 \sim 2.71$

黏性土 $d_s = 2.72 \sim 2.75$

土粒相对密度 d_s 的数值大小取决于土的矿物成分。

(4) 测定方法

1) 比重瓶法 通常用容积为 100mL 玻璃制的比重瓶，将烘干试样 15g 装入比重瓶，用 1/1000 精度的天平称瓶加干土质量。注入半瓶纯水后煮沸 1h 左右以排除土中气体，冷却后将纯水注满比重瓶，再称总质量并量测瓶内水温。

2) 经验法 因各种土的相对密度值相差不大，仅小数后第 2 位不同。若当地已进行大量土粒相对密度试验，有时可采用经验值。

3. 土的含水率 w

(1) 物理意义

土的含水率（或称含水量）表示土中含水的数量，为土体中水的质量与固体矿物质量的比值，用百分数表示。

(2) 表达式

$$w = \frac{\text{水的质量}}{\text{固体颗粒质量}} = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1.5)$$

(3) 常见值

砂土 $w = 0 \sim 40\%$

黏性土 $w = 20\% \sim 60\%$

当 $w \approx 0$ 时，黏性土呈坚硬状态。

(4) 测定方法

土的含水率用烘箱法测定，适用于黏性土、粉土与砂土常规试验。取代表性试样，黏性土为 15~30g，砂性土与有机质土为 50g，装入称量盒内称其质量后，放入烘箱内，在 105~110℃ 的恒温下烘干（对黏性土、粉土不得少于 8h，对砂土不得少于 6h），取出烘干后土样冷却后再称质量，计算而得。

4. 土的干密度 ρ_d 和土的干重度 γ_d

(1) 物理意义

土的干密度为单位土体体积干土的质量，单位为 g/cm^3 。土的干重度为单位土体体



积干土所受的重力, 即 $\gamma_d = \rho_d \cdot g = 9.8\rho_d$ 或 $10\rho_d$ 。

(2) 表达式

$$\rho_d = \frac{\text{固体颗粒质量}}{\text{土的总体积}} = \frac{m_s}{V} \quad (1.6)$$

(3) 常见值

$$\rho_d = 1.3 \sim 2.0 \text{g/cm}^3; \gamma_d = 13 \sim 20 \text{kN/m}$$

(4) 工程应用

土的干密度通常用作填方工程, 包括土坝、路基和人工压实地基, 土体压实质量控制的基准。

土的干密度 ρ_d (或干重度 γ_d) 越大, 表明土体压得越密实, 亦即工程质量越好。根据工程的重要程度和当地土的性质, 设计规定一个合理的 ρ_d (或 γ_d) 数值。例如, 灰土地基压实的质量标准, 要求灰土的最小干密度: 粉土灰土 $\rho_d = 1.55 \text{g/m}$, 粉质黏土灰土 $\rho_d = 1.50 \text{g/m}$, 黏土灰土 $\rho_d = 1.45 \text{g/m}$, 又如密云水库白河主坝防渗斜墙粉质黏土施工压实质量标准 $\rho_d \geq 1.70 \text{g/m}$ 。

(5) 测定方法

1) 环刀法 具体方法见前环刀法。

2) 放射性同位素法 重大工程需要反复测试干密度, 为节约时间, 可应用放射性同位素测试仪。例如, 密云大型水库白河主坝高 66.39m, 坝顶长 960.2m。大坝防渗斜墙粉质黏土施工时, 采用分层碾压法, 要求达到 $\rho_d = 1.70 \text{g/m}^3$ 。若质检采用环刀容积为 500cm^3 左右, 则测试的代表性更好。测土的密度 ρ , 计算 ρ_d , 耗时超过半小时。用此法在质检时大坝施工停顿, 而按要求在汛前修至 147m 拦洪高程, 因此大坝施工是与洪水赛跑。如果应用放射性同位素测土密度仪代替环刀法, 则效率提高约 20 倍, 精度达到 $\pm 0.01 \text{g/cm}^3$, 效果显著。

5. 土的饱和密度 ρ_{sat} 和土的饱和重度 γ_{sat}

(1) 物理意义

土的饱和密度为孔隙中全部充满水时, 单位土体体积的质量。土的饱和重度为孔隙中全部充满水时, 单位土体体积所受的重力, 即 $\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} \cdot g = 9.8\rho_{\text{sat}} \approx 10\rho_{\text{sat}}$ 。

(2) 表达式

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{\text{孔隙全部充满水的总质量}}{\text{土体总体积}} = \frac{m_s + m_w + V_a \rho_w}{V} \quad (1.7)$$

(3) 常见值

$$\rho_{\text{sat}} = 1.8 \sim 2.3 \text{g/cm}^3; \gamma_{\text{sat}} = 18 \sim 23 \text{kN/m}^3$$

6. 土的有效重度 (浮重度) γ'

(1) 物理意义

土的有效重度为地下水位以下, 单位体积土体所受重力再扣除浮力。