



高等院校卓越计划系列丛书

# 土力学

## 学习指导与习题集

胡安峰 龚晓南 谢康和 编著

中国建筑工业出版社

责任编辑: 赵梦梅  
封面设计: 七星博纳



建工出版社微信



i土木微信

经销单位: 各地新华书店、建筑书店

网络销售: 本社网址 <http://www.cabp.com.cn>

中国建筑出版在线 <http://www.cabplink.com>

中国建筑书店 <http://www.china-building.com.cn>

本社淘宝天猫商城 <http://zgjzgyCBS.tmall.com>

博库书城 <http://www.bookuu.com>

图书销售分类: 高校教材 (V)

ISBN 978-7-112-23928-3



9 787112 239283 >

(34233) 定价: 39.00 元



高等院校卓越计划系列丛书

# 土力学学习指导与习题集

胡安峰 龚晓南 谢康和 编著

常州大学图书馆  
藏书章

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

土力学学习指导与习题集/胡安峰, 龚晓南, 谢康和编著.  
北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 8  
(高等院校卓越计划系列丛书)  
ISBN 978-7-112-23928-3

I. ①土… II. ①胡… ②龚… ③谢… III. ①土力学-高等学校-教学参考资料 IV. ①TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 131501 号

本书根据中国建筑工业出版社出版的《土力学》(龚晓南, 谢康和主编)教材来编写, 内容共分九章, 包括: 土的物理性质与工程分类, 土的渗透性与土中水的渗流, 地基中应力计算, 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, 地基承载力以及土坡稳定分析。并给出了部分习题的参考答案。

本书结构安排合理、题量大、内容全面而新颖; 基本理论与典型算例紧密融合, 便于读者及时加深对所学知识的理解; 习题难易结合, 以适应不同层次的读者的需要, 也有利于学有余力的读者进一步思考、钻研。

本书可作为高等院校土木工程专业本科生的辅助教材; 也适用于立志考研或希望继续从事岩土工程相关领域研究工作的人员使用; 亦可作为从事土建工作的相关技术人员学习、参考。

\* \* \*

责任编辑: 赵梦梅

责任校对: 党蕾

高等院校卓越计划系列丛书  
**土力学学习指导与习题集**  
胡安峰 龚晓南 谢康和 编著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{3}{4}$  字数: 403 千字

2019年9月第一版 2019年9月第一次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-23928-3  
(34233)

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)

# 浙江大学建筑工程学院卓越计划系列教材

## 丛书序言

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程出版社诚意合作，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”。

本丛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。

本丛书面向土木、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。

# 前 言

本书是为了配合土力学课程的学习需要，以中国建筑工业出版社出版的《土力学》（龚晓南，谢康和主编）教材为主要依据编著而成，亦参考了国内一些其他教材。

主要内容紧紧围绕本科课堂教学内容。每章内容主要分为理论概要、例题详解、习题精练及部分习题参考答案四个部分，并给出了部分典型习题的解答。理论概要部分主要介绍该章需要掌握的主要理论，是对本章内容的归纳和提炼，便于读者学习和复习；例题详解主要针对知识点给出典型例题及解答，便于读者及时加深对基本理论的理解和掌握；在每一章的最后均有相应的习题库，习题库中的题目按照题型分为填空、选择、问答及计算四种，题目分易、中、难三个档次，便于不同知识层次的读者自由选择。习题库中的题目有些是用来考核读者对基本理论及原理的掌握程度，有些则是侧重于考察读者灵活应用所学知识以及应用基本理论解决实际问题的能力。对于部分典型的习题，给出了解答过程或答案，便于读者自学。本书基本涵盖了土力学课程的全部内容。

本书由浙江大学建筑工程学院胡安峰、龚晓南和谢康和编著。自从2004年开始准备编写，到最后定稿完成，前后历时10余年，浙江大学的多位研究生参与了本书的编辑和图表工作，早年有博士研究生温介邦等参与了部分习题的解答工作，在读研究生李唐参与了大量习题编辑和校对工作。最后的统稿中，研究生李龙、姜浩、陈缘、陈正等参与了校对工作，在此一并表示感谢。

在编写过程中，本书参考和引用了许多专家学者的教材和习题集中的一些习题和解答，在此向原作者表示由衷的感谢。限于作者水平有限，书中难免存在纰漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2019年6月

# 目 录

第 1 章 土的物理性质与工程分类	1
1.1 理论概要	1
一、土的组成与物理性质指标	1
二、土的颗粒级配	5
三、土的物理状态指标	6
四、土的结构性	8
五、土的压实性	9
六、土的工程分类	10
1.2 例题详解	12
1.3 习题精练	15
一、选择题	15
二、填空题	17
三、简答题	18
四、计算题	20
1.4 部分习题参考答案	23
一、选择题	23
二、填空题	23
三、简答题	24
四、计算题	27
第 2 章 土的渗透性与土中水的渗流	35
2.1 理论概要	35
一、概述	35
二、土的渗透性与渗流定律	35
三、土的渗透系数	37
四、渗透变形及渗透控制	39
五、二维渗流和流网	41
2.2 例题详解	43
2.3 习题精练	45
一、选择题	45
二、填空题	47
三、简答题	47
四、计算题	48
2.4 部分习题参考答案	51
一、选择题	51

二、填空题	51
三、简答题	52
四、计算题	54
<b>第3章 地基中应力计算</b>	<b>58</b>
3.1 理论概要	58
一、概述	58
二、地基中自重应力计算	59
三、基础底面的压力分布及计算	60
四、竖向集中力作用下地基中附加应力计算	62
五、地面上作用有分布荷载时地基中附加应力计算	63
3.2 例题详解	66
3.3 习题精练	70
一、选择题	70
二、填空题	72
三、简答题	73
四、计算题	73
3.4 部分习题参考答案	76
一、选择题	76
二、填空题	77
三、简答题	77
四、计算题	78
<b>第4章 土的压缩性和固结理论</b>	<b>83</b>
4.1 理论概要	83
一、概述	83
二、土的压缩性	83
三、一维固结理论	87
4.2 例题详解	93
4.3 习题精练	95
一、选择题	95
二、填空题	99
三、简答题	100
四、计算题	100
4.4 部分习题参考答案	103
一、选择题	103
二、填空题	104
三、简答题	104
四、计算题	104
<b>第5章 地基沉降计算</b>	<b>110</b>
5.1 理论概要	110

一、概述	110
二、地基沉降原理	110
三、常用沉降计算方法	111
5.2 例题详解	116
5.3 习题精练	121
一、选择题	121
二、填空题	123
三、简答题	123
四、计算题	124
5.4 部分习题参考答案	127
一、选择题	127
二、填空题	128
三、简答题	128
四、计算题	130
<b>第6章 土的抗剪强度</b>	<b>138</b>
6.1 理论概要	138
一、概述	138
二、土的抗剪强度理论	138
三、土的抗剪强度指标及抗剪强度的测定方法	140
四、饱和黏性土抗剪强度	142
五、无黏性土抗剪强度	145
六、抗剪强度的影响因素	145
6.2 例题详解	147
6.3 习题精练	150
一、选择题	150
二、填空题	152
三、简答题	152
四、计算题	153
6.4 部分习题参考答案	158
一、选择题	158
二、填空题	158
三、简答题	158
四、计算题	160
<b>第7章 土压力和支挡结构</b>	<b>174</b>
7.1 理论概要	174
一、概述	174
二、静止土压力计算	174
三、朗肯 (Rankine, 1857) 土压力理论	175
四、库仑 (Coulomb, 1776) 土压力理论	176

五、几种典型情况下的土压力计算	178
六、土压力计算的讨论	180
七、重力式挡土结构	181
7.2 例题详解	183
7.3 习题精练	187
一、选择题	187
二、填空题	188
三、简答题	189
四、计算题	189
7.4 部分习题答案	195
一、选择题	195
二、填空题	195
三、简答题	195
四、计算题	196
<b>第8章 地基承载力</b>	<b>209</b>
8.1 理论概要	209
一、概述	209
二、地基破坏模式及破坏过程	210
三、地基的临塑荷载和临界荷载	211
四、地基的极限承载力 $p_u$	213
五、按规范确定地基承载力	215
8.2 例题详解	216
8.3 习题精练	219
一、选择题	219
二、填空题	222
三、简答题	222
四、计算题	222
8.4 部分习题答案	225
一、选择题	225
二、填空题	225
三、简答题	226
四、计算题	226
<b>第9章 土坡稳定分析</b>	<b>231</b>
9.1 理论概要	231
一、概述	231
二、无黏性土坡的稳定分析	231
三、黏性土坡的稳定分析	232
四、稳定渗流条件下土坡的稳定分析	235
五、滑坡的防治和土坡稳定的安全系数	236

9.2 例题详解 .....	237
9.3 习题精练 .....	240
一、选择题 .....	240
二、判断题 .....	242
三、简答题 .....	242
四、计算题 .....	242
9.4 部分习题答案 .....	248
一、选择题 .....	248
二、判断题 .....	248
三、简答题 .....	249
四、计算题 .....	249
参考文献 .....	256

# 第 1 章 土的物理性质与工程分类

## 1.1 理论概要

### 一、土的组成与物理性质指标

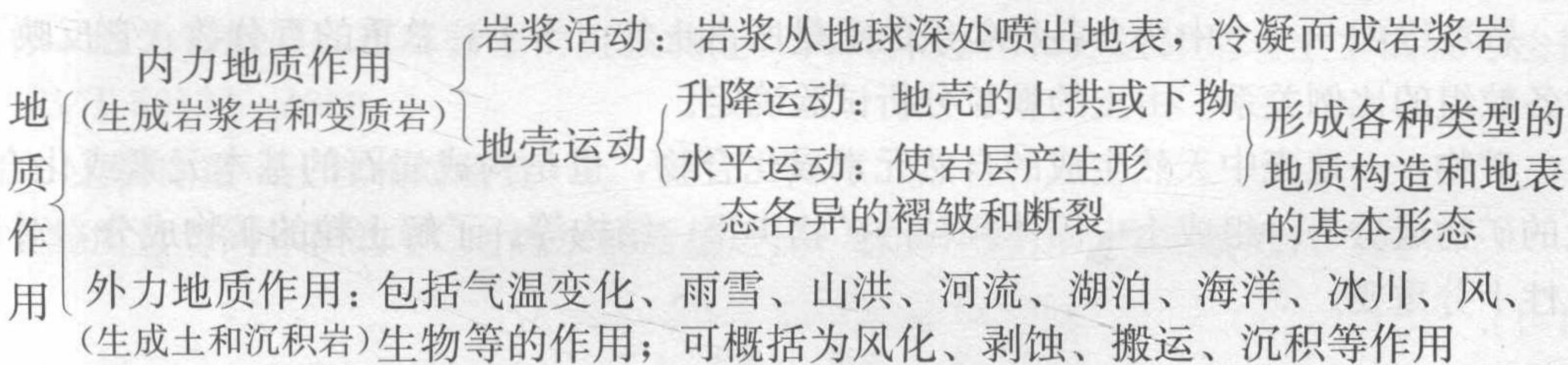
土作为建筑物地基的主体，显然是土力学研究的主要对象。土是岩石经过物理、化学风化和生物作用而形成的大小悬殊的颗粒，土的物质成分包括有作为土骨架的固态颗粒、孔隙中的水及其溶解物质以及气体。因此，土是由颗粒（固相）、水（液相）和气（气相）所组成的三相体系。

### 1. 土的成因与组成

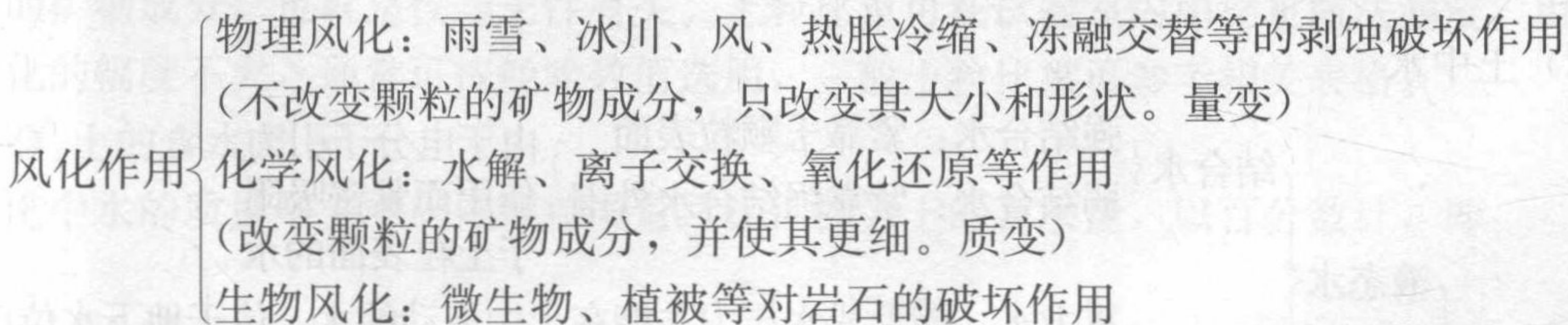
#### (1) 形成作用与成因类型

严格地说，土是由地质作用而生成的。

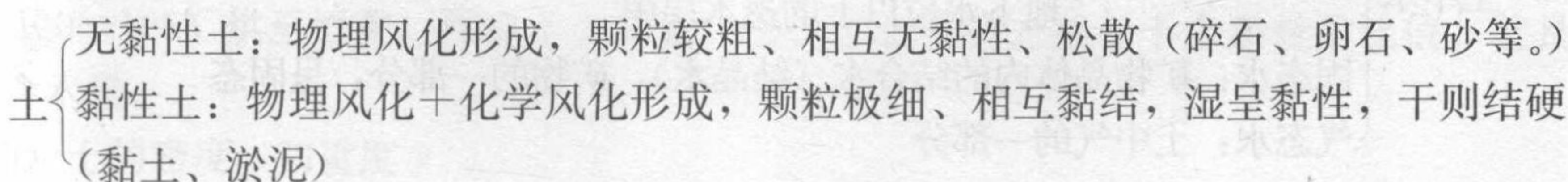
地质作用——导致地壳（30~80km）成分变化和构造变化的作用。是土的生成的根本原因和动力。



内力与外力地质作用彼此独立又相互依存，前者对地壳的发展占主导地位。地质作用形成了各种成因的地形，造就了岩浆岩、变质岩、沉积岩，也生成了土。对土的生成贡献最大的地质作用是风化作用。



按风化成因，土可分为：



地质年代——地壳发展历史与地壳运动、沉积环境及生物演化相应的世代段落。分为绝对的和相对的，后者应用最广。

相对地质年代——根据古生物的演化和岩层形成的顺序，将地壳历史划分成的一些自然时段，共划分为五大代：太古代、元古代、古生代、中生代、新生代。

代又分为纪，纪又分为若干世和期，即代→纪→世→期。

每一地质年代中都划分有相应的地层，依次为界→系→统→阶（层）。

在新生代中最新近的一个纪段称为第四纪，我们现在所见的土就是在这一地质年代生成且尚未胶结成岩的，距今约 100 万年。

因此，我们现在所指的土可称为第四纪沉积物（层），需要指出：

岩石经风化而成土，土也可经压实固结、脱水、胶结硬化而成为岩石（沉积岩），即

岩石  $\xrightarrow[\text{压实固结、胶结硬化}]{\text{风化}}$  土。当然这需要漫长的时间（以百万年计）。

## (2) 土的组成

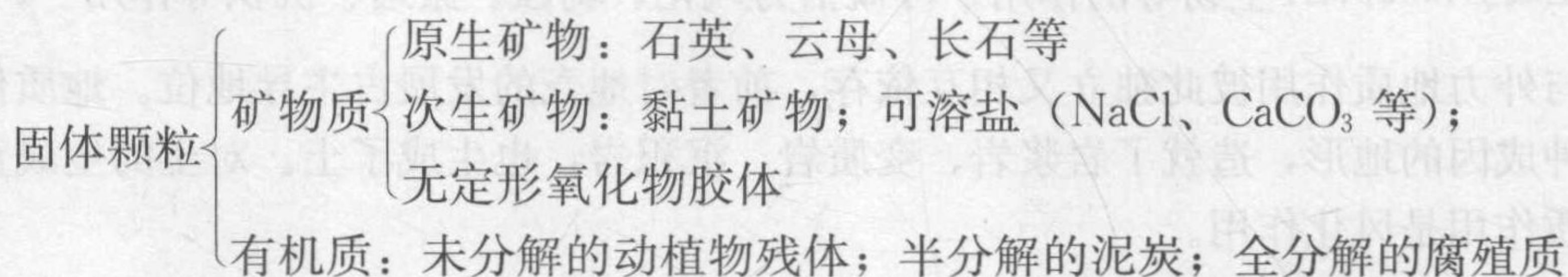
### 1) 土中的固体颗粒

土中的固体颗粒（简称土粒）是土的主要组成部分，是土的骨架。土颗粒的大小、形状、和矿物成分及组成情况是决定土的物理力学性质的主要因素。

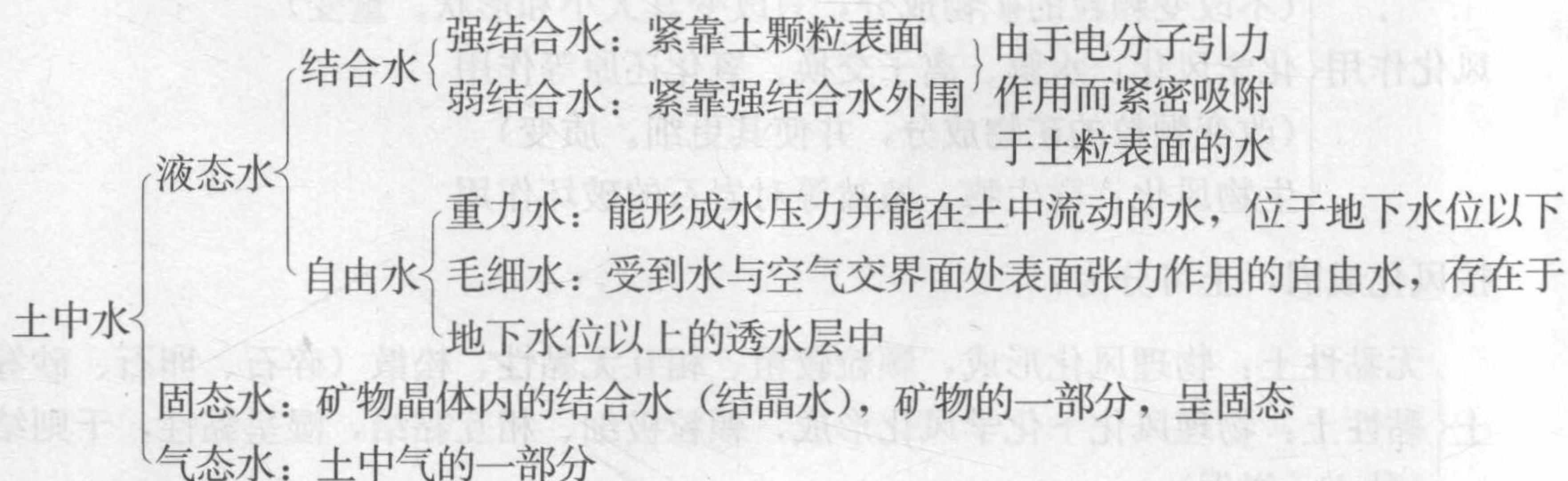
土是由大小不同的土粒组成的；随着颗粒的变化，土的性质将发生变化；例如：随着粒径的变细，土的性质由无黏性变为黏性。因此，为了区分土颗粒的特征，常将其划分为不同的粒组，粒组是指粒径界于一定范围内的土粒的集合。

颗粒级配——土中所含各种粒组的重量所占土粒（干土）总重的百分数。它反映了土中各粒组的比例关系。由土的颗粒分析试验确定。

矿物——地壳中天然生成的自然元素或化合物，也是构成岩石的基本元素或化合物。土的矿物成分——组成土中固体颗粒的矿物类型、结构等。了解土粒的矿物成分，对认识土性十分重要。



### 2) 土中水



### 3) 土中气体

土中气占据了土中未被水占领的孔隙。

自由气体——与大气连通、不影响土质、常存在于粗粒土中。

封闭气体——与大气隔绝，增加土的弹性，减少土的透水性。

可燃气体——由微生物的分解作用而形成，常存在于淤泥和泥炭等有机土中。

## 2. 土的物理性质指标

由于土是三相体系，不能用一个单一指标来说明三相间的比例。在研究土粒、水和气体三者相对含量对土的性质的影响中，为了便于说明和计算，一般采用图 1-1 所示的土的三相组成示意图来表示各部分之间的数量关系，图中符号的意义如下：

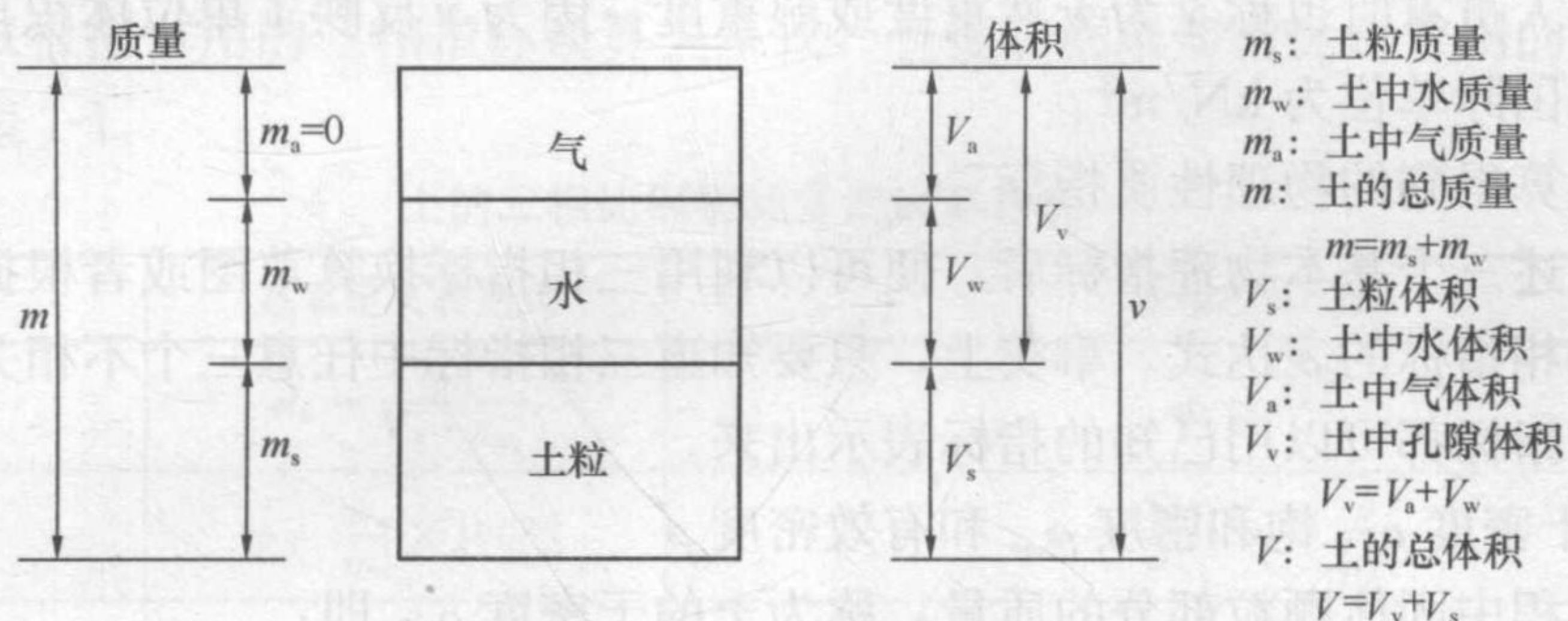


图 1-1 土的三相组成示意图

### (1) 三个基本物理性质指标

土粒比重、含水量和土的密度或重度称为土的三相基本物理指标，也称为实测物理性质指标，因为它们可以在实验室内直接测定，其具体过程和方法详见《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999。

#### 1) 土粒比重（土粒相对密度） $d_s$

土粒质量与同体积的 4℃ 时纯水的质量之比，称为土粒比重（无量纲），即：

$$d_s = \frac{m_s}{V_s \cdot \rho_{w1}} = \frac{\rho_s}{\rho_{w1}} \approx \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-1)$$

式中  $\rho_s$  —— 土粒密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )；

$\rho_{w1}$  —— 纯水在 4℃ 时的密度（单位体积的质量），等于  $1\text{g}/\text{cm}^3$  和  $1\text{t}/\text{m}^3$ 。

土粒比重  $d_s$  是一个无量纲的常数，本质是指土粒相对密度，其数值大小取决于土粒本身的矿物成分，也就是仅与土性有关。土粒比重可在试验室内用比重瓶法测定。由于比重变化的幅度不大，通常可按经验数值选用，一般土粒比重可参考相关表格。

#### 2) 土的含水量 $w$

土中水的质量与土中固体颗粒质量之比，称为土的含水量，以百分数计，即：

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-2)$$

土的含水量一般用“烘干法”测定。先称小块原状土样的湿土质量，然后置于烘箱内维持 100~105℃ 烘至恒重，再称干土质量，湿、干土质量之差与干土质量的比值，就是土的含水量。

#### 3) 土的密度 $\rho$ 和重度 $\gamma$

单位体积土的质量称为土的密度（国际单位是  $\text{kg}/\text{m}^3$ ，有时也用  $\text{g}/\text{cm}^3$ ），即：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-3)$$

土的密度一般用“环刀法”测定，用一个圆环刀（刀刃向下）放在削平的原状土样面上，徐徐削去环刀外围的土，边削边压，使保持天然状态的土样压满环刀内，称得环刀内土样质量，求得它与环刀容积之比值即为其密度。

土的重度定义为单位体积土的重量，表示为：

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho \cdot g \quad (1-4)$$

工程技术人员有时也称  $\gamma$  为天然重度或湿重度，因为  $\gamma$  反映了单位体积自然湿土样的重量，重度的国际单位为  $\text{kN/m}^3$ 。

(2) 可换算得到的物理性质指标

确定了上述三个基本物理指标后，便可以利用三相指标换算草图或者根据各指标定义来推导其他三相指标的表达式。事实上，只要知道三相指标中任意三个不相关的指标，其他的物理性质指标都可以用已知的指标表示出来。

1) 土的干密度  $\rho_d$ 、饱和密度  $\rho_{\text{sat}}$  和有效密度  $\rho'$

土单位体积中固体颗粒部分的质量，称为土的干密度  $\rho_d$ ，即：

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-5)$$

在工程上常把干密度作为评定土体紧密程度的标准，以控制填土工程的施工质量。

土孔隙中充满水时的单位体积质量，称为土的饱和密度  $\rho_{\text{sat}}$ ，即

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1-6)$$

式中  $\rho_w$  为水的密度，近似取  $\rho_w \approx 1\text{g/cm}^3$ 。

在地下水位以下，单位土体积中土粒的质量扣除同体积水的质量后，即为单位土体积中土粒的有效质量，称为土的有效密度（亦称浮密度） $\rho'$ ，即：

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} \quad (1-7)$$

在计算自重应力时，须采用土的重力密度，简称重度。土的湿重度  $\gamma$ 、干重度  $\gamma_d$ 、饱和重度  $\gamma_{\text{sat}}$ 、有效重度  $\gamma'$  分别按下列公式计算： $\gamma = \rho \cdot g$ ， $\gamma_d = \rho_d \cdot g$ ， $\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} \cdot g$ ， $\gamma' = \rho' \cdot g = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$ ，式中  $g$  为重力加速度，各指标的单位为  $\text{kN/m}^3$ 。在数值上有如下关系： $\rho_{\text{sat}} \geq \rho \geq \rho_d > \rho'$ 。

2) 土的孔隙比  $e$  和孔隙率  $n$

土的孔隙比是土中孔隙体积与土中固体颗粒体积之比，即：

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-8)$$

孔隙比用小数表示，它是一个重要的物理性指标，可以用来评价天然土层的密实程度。

土的孔隙率是土中孔隙所占体积与土体总体积之比，以百分数表示，即：

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-9)$$

### 3) 土的饱和度 $S_r$

土中被水充满的孔隙体积与孔隙总体积之比，称为土的饱和度，以百分率计，即：

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-10)$$

### (3) 物理性质指标之间的推导关系

土的三相指标的推导是本章的重点，一般来讲，推导的基本思路是：先假设  $V_s = 1$ ，把三相草图左侧的质量和右侧的体积表示出来；然后从未知指标的基本定义出发，力图在变换中把已知指标引入，最终求解未知指标。

当然也可以根据常用的三相指标换算关系式，直接求解未知指标，常用的土的三相指标换算公式见表 1-1。

土的三相比例指标常用换算公式

表 1-1

名称和符号	基本定义表达式	常用换算公式
土粒比重 $d_s$	$d_s = \frac{m_s}{V_s \cdot \rho_w}$	$d_s = \frac{S_r e}{w}$
含水量 $w$	$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$	$w = \frac{S_r e}{d_s}; w = \frac{\rho}{\rho_d} - 1$
密度 $\rho$	$\rho = \frac{m}{V}$	$\rho = \rho_d(1+w); \rho = \frac{d_s(1+w)}{1+e} \rho_w$
干密度 $\rho_d$	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w}; \rho_d = \frac{d_s}{1+e} \rho_w$
饱和密度 $\rho_{sat}$	$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	$\rho_{sat} = \frac{d_s + e}{1+e} \rho_w; \rho_{sat} = \rho' + \rho_w$
有效密度 $\rho'$	$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V}$	$\rho' = \frac{d_s - 1}{1+e} \rho_w; \rho' = \frac{d_s - 1}{d_s(1+w)} \rho; \rho' = \rho_{sat} - \rho_w$
孔隙比 $e$	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{d_s(1+w)\rho_w}{\rho} - 1; e = \frac{d_s \rho_w}{\rho_d} - 1; e = \frac{w d_s}{S_r}$
孔隙率 $n$	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = 1 - \frac{\rho}{d_s(1+w)\rho_w}; n = \frac{e}{1+e}$
饱和度 $S_r$	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{w d_s}{e}$

## 二、土的颗粒级配

颗粒的大小通常以粒径表示，但需要注意的是，这里的粒径并非土颗粒的真实直径，而是同筛孔直径（筛分法）或与实际土粒有相同沉降速度的理想球体的直径（密度计法）相等效的名义粒径。

介于一定范围内的土粒，称为粒组。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。

土粒的大小及其组成情况，通常以土中各个粒组的相对含量（各粒组占土粒总量的百分数）来表示，称为土的颗粒级配。根据颗粒大小分析试验结果，可以绘制颗粒级配累积曲线。如曲线较陡，则表示粒径大小相差不多，土粒较均匀；反之，曲线平缓，则表示粒径大小相差悬殊，土粒不均匀，即级配良好。

小于某粒径的土粒质量累计百分数为 10% 时，相应的粒径称为有效粒径  $d_{10}$ 。小于某粒径的土粒质量累计百分数为 30% 时的粒径用  $d_{30}$  表示。当小于某粒径的土粒质量累计百分数为 60% 时，该粒径称为限定粒径  $d_{60}$ 。

利用颗粒级配累积曲线可以确定两个描述土粒的级配的指标：

不均匀系数  $C_u$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-11)$$

曲率系数  $C_c$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (1-12)$$

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，其级配越良好；曲率系数  $C_c$  描写的是累积曲线的分布范围，反映曲线的整体形状。

一般认为：砾类土或砂类土同时满足  $C_u \geq 5$  和  $C_c = 1 \sim 3$  两个条件时，则定名为良好级配砾或良好级配砂。对于级配良好的土，较粗颗粒间的孔隙被较细的颗粒所填充，因而土的密实度较好，相应的地基土的强度和稳定性也较好，透水性和压缩性也较小。

### 三、土的物理状态指标

土的物理状态：对于无黏性土，一般指其密实度；而对于黏性土，则是指其软硬程度，也就是它的稠度。

#### 1. 无黏性土的密实度

无黏性土主要是指砂土和碎石类土。天然状态下孔隙比  $e$ 、相对密实度  $D_r$  和标准贯入试验锤击数  $N$  等都可以用来评价无黏性土密实度。

##### (1) 天然孔隙比 $e$

评价无黏性土密实度主要根据天然状态下孔隙比  $e$  的大小，划分成稍松的、中密的和密实的三种。对于同一种砂土，可根据孔隙比方便地判别其密实度，但对于两种级配不同的砂土，仅用孔隙比一个指标则无法反映土的颗粒级配的影响。

由于无黏性土的级配起着很重要的作用，所以除  $e$  外通常还采用相对密实度  $D_r$  和标准贯入试验锤击数  $N$  来评价无黏性土的密实度。

##### (2) 相对密实度 $D_r$

相对密实度  $D_r$  常被用来描述无黏性土在天然状态下的密实程度，其表达式为：

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-13)$$

式中  $D_r$  ——无黏性土的相对密实度，常用百分数表示；

$e_{\max}$  ——土在最松散状态的孔隙比，即最大孔隙比，采用“松散器法”测定；

$e_{\min}$  ——土在最密实状态时的孔隙比，即最小孔隙比，采用“振击法”测定；

$e$  ——土在天然状态时的孔隙比。

当  $D_r=0$ ，表示土处于最松状态；当  $D_r=1$ ，表示土处于最密状态。

不同矿物成分、不同级配和不同粒度成分的无黏性土，最大孔隙比和最小孔隙比都是不同的，因此，相对密实度  $D_r$  比孔隙比  $e$  能更全面反映上述各种因素的影响。从理论上讲，采用相对密实度的概念比较理想，但是测定  $e_{\max}$  和  $e_{\min}$  的试验方法不够完善，试验结果常常有很大出入。而最困难的是现场取样，一般条件不可能完全保持砂土的天然结构，因而砂土的天然孔隙比的数值很不可靠，这就使得相对密实度的指标难于测准，所以在实际工程中并不普遍使用。

##### (3) 标准贯入试验锤击数 $N$

在工程中，常用标准贯入试验锤击数来划分砂土的密实度。