



国家骨干高等职业院校
优质核心课程系列教材



水文与工程地质专业 >>>

岩土室内检测

◎ 主编 王娟 魏源

地质出版社



国家骨干高等职业院校优质核心课程系列教材

岩土室内检测

主 编 王 娟 魏 源
副主编 凌浩美 陈水木
主 审 李雪梅 张流趁

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

《岩土室内检测》是江西应用技术职业学院国家骨干院校建设的工学结合特色教材。本书理论联系实际,按照“提出问题、分析问题、解决问题”的思路进行设计,充分体现“以项目为导向、以任务为驱动”的课程设计理念。本书包括5个项目共11个任务,每个任务都是一个实际操作的过程。通过完成任务,掌握知识和技能,真正实现“教-学-做”一体化。

本书适用于高职高专岩土工程、水文与工程地质、工程地质勘察等专业,也可供从事工程地质勘测和岩土工程的广大技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土室内检测/王娟等主编. —北京:地质出版社, 2014.3

ISBN 978-7-116-08734-7

I. ①岩… II. ①王… III. ①岩土工程-室内试验-中等专业学校-教材 IV. ① TU411

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第036942号

责任编辑:李惠娣

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324514(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm^{1/16}

印 张:13

字 数:320千字

印 数:1—2000册

版 次:2014年3月北京第1版

印 次:2014年3月北京第1次印刷

定 价:20.80元

书 号:ISBN 978-7-116-08734-7

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

岩土室内检测课程是高职高专水文与工程地质专业的一门专业基础课,它是学好后续各专业课程的前提;同时,岩土室内检测能力也是高职高专水文与工程地质专业学生必备的一项技能。其配套教材《岩土室内检测》是江西应用技术职业学院国家骨干院校建设的工学结合特色教材。本教材是依据高职高专教学的特点,紧紧围绕高职高专以培养应用型人才为目标,在明确本教材的教育目标及知识、能力、素质结构前提下编写的。教材结合岩土室内检测生产实际,以生产项目为导向、任务为驱动,实现“教-学-做”一体化。教材在遵循学生认知规律的基础上,注重教材的实用性和任务实施的合理性,突出岩土检测能力的培养。

本教材有如下特点:

(1) 教材将岩土室内检测能力放在首位,把基本的工程岩土学概念、基础知识融入技能培养之中,充分体现室内岩土检测能力的培养。教材将土、岩石和水土腐蚀性分析分成五个项目,各项目设置具体工作任务。根据每个任务的完成过程,在每个任务中均用“任务提出”“任务分析”提出通过学习和训练要完成的工作;从“知识任务”“技能任务”入手,分析此任务要求学习者要掌握的知识和技能,明确学习目的和目标;采用“知识链接”将此部分所需的基础知识进行必要的介绍;能力训练的“任务实施”部分,根据岩土检测某任务的实施过程,让学习者跟随教材内容进行检测,并最终完成工作任务;“案例模拟”对一些难度较大的任务列出成果在工程中的应用,供学习参考;“知识拓展”部分介绍了任务涉及的一些新方法或者操作较复杂的方法,供学有余力的学生拓宽知识面,提升自身能力;“要点回顾”主要是将任务的主要知识点进行总结,明确任务要点;“学后测评”是对知识和技能进行巩固和提高。

(2) 教材的内容主要源于行业典型工作任务,参考了当前主要岩、土、水检测规范、规程,引入了任务实施时得到的实际成果,供学习参考。教材对必不可少的理论采取了预备知识和嵌入相关任务的方式,力求做到概念清楚、简明扼要、重点突出、通俗易懂。教材体现了理论与实践一体化的教学过程,实现了职业教育的职业性、实践性和开放性的要求。

(3) 教材减少了理论叙述部分,重点放在任务实施即学生操作部分。在每个任务中,均提出了应该完成的知识任务和技能任务,然后给出完成任务所需要的知识即知识链接部分,最后是任务实施,即学习应该完成的技能任务。每个任务后均给出测评问题,考察学习效果。教材按照“提出问题→分析问题→解决问题”

的思路进行设计,是一本集“教-学-做”为一体、操作性较强的教学实施过程的教材。

工学结合特色教材《岩土室内检测》与传统教材相比,有以下突破:

(1) 教材引入当前岩、土、水检测规范,重点放在岩、土、水室内检测及成果应用,减少了不必要的理论知识,更贴近专业的发展和实际需要。

(2) 将检测内容划分为若干典型工作任务,充分体现“以项目为导向,以任务为驱动”的课程设计理念。每个学习任务都是一个实际操作的过程,通过完成任务掌握知识和技能,真正实现“教-学-做”一体化。

(3) 图文并茂,提高学生的学习兴趣。对教材中任务实施的试验操作部分,改变了以往文字叙述的方式,而用图表表示,让操作过程一目了然,操作更容易。

全书分两部分:预备知识和项目。预备知识是完成岩土检测工作任务所必需的基础知识,主要从“学习目标”“学习内容”“学后测评”三方面阐明学习内容和要求;项目中每个任务均以岩、土或水为载体,按实际检测过程,让读者逐步完成检测工作。

前言、项目二、项目三由王娟编写,项目四任务一由凌浩美编写,项目四任务二由孙剑锋(湖北国土资源职业学院)编写,预备知识一、预备知识二和项目一由魏源(江西省地调院环境地质调查中心)编写,项目五由陈水木(江西应用技术职业学院测试研究所)编写。全书最后由王娟统编定稿。全书由吉林大学应用技术学院李雪梅副教授和江西省赣州市水利电力勘测设计研究院张流趁高工主审。

教材编写过程中,引用了大量前人工作成果和现行相关规范以及其他教材的有关内容,对此,编者深表谢意。感谢江西省赣州市水利电力勘测设计研究院黄京提供检测成果。此外,编者所在学校的领导和同事对本书的编写给予了极大的关心和支持。在此,向关心、支持和帮助本教材编写的各位领导、专家、同事致以诚挚的谢意!

由于编写和统稿时间仓促及编者水平所限,书中不当之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2013年7月

目 录

前 言

预备知识一 岩土检测基本要求	1
预备知识二 土的物质组成及结构	6
项目一 非黏性土检测	14
任务一 粒度分析	14
项目二 黏性土检测	25
任务一 物理性质检测	25
一、土粒相对密度检测	25
二、密度检测	29
三、细粒土的粒度分析	33
任务二 水理性质检测	39
一、含水率检测	39
二、界限含水率检测	46
任务三 力学性质检测	55
一、压缩性检测	56
二、抗剪性检测	70
任务四 动荷载下土的压密性检测	81
任务五 土体检测实际操作练习	89
项目三 混合及特殊土检测	91
任务一 混合土检测	91
任务二 特殊土检测	100
一、软土灵敏度检测	100
二、黄土湿陷性检测	105
三、膨胀特性检测	114
项目四 岩石样品检测	132
任务一 基本物理性质检测	132
一、岩石含水率检测	132
二、颗粒密度检测	136
三、块体密度检测	139

四、岩石吸水性检测..... 146

任务二 力学性质检测 150

一、单轴抗压强度检测..... 150

二、单轴压缩变形检测 157

三、抗拉强度检测..... 166

四、抗剪强度检测..... 170

五、点荷载强度检测..... 180

项目五 水土腐蚀性检测..... 187

任务一 水土腐蚀性检测..... 187

参考文献..... 200

预备知识一 岩土检测基本要求

任何工程建筑都是修建在地壳表层的岩土体中，任何建筑物都是以岩土体作为建筑地基（如厂基、坝基、路基）、建筑介质（地下硐室围岩、边坡工程）或建筑材料（如土料、砂料、石料）。因此岩土体的性质是决定工程活动与地质环境相互制约的形式和规模的根本条件。本教材的内容是通过实验室检测，研究岩土体的基本性质。

【学习目标】

- 1) 掌握岩土体基本概念和特征。
- 2) 掌握岩土试样的取样要求。
- 3) 掌握实验室岩土试样验收和管理的基本要求。

【学习内容】

（一）岩土体的概念

岩土体是坚硬岩石和松软土的简称，它们都是地质作用的产物。岩土体是地质体，存在于一定的地质环境中，受有关因素（如地应力、地下水、温度）的影响。岩土体的定义是：由一定的岩土材料组成，具有一定结构，赋存于一定地质环境中的地质体。无论坚硬岩石还是松软土，一般都是由固相、液相、气相组成的多相体系，并且都是矿物集合体。尽管岩石和土可用“岩土”这一地质术语来概括，但两者在工程地质性质上却有很大差别。岩石是组成地壳的基本物质，它是由矿物和岩屑在长期的地质作用下按一定规律凝结而成的自然地质体。岩石的矿物颗粒间具有牢固的结晶联结或胶结联结，因而强度高，在外力作用下变形量小。土是岩石风化后在原地或经搬运后沉积形成的碎散颗粒集合体。土的颗粒间联结很弱或者无联结，故强度低、易变形。

岩土体是由岩、土组成的地质体，在小范围内可以近似地把它看作均质的各向同性介质；但在较大范围内，由于岩土体在形成过程中，以及形成后，在外力地质作用或内力地质作用下，可形成各种不连续面，使岩土体经常表现出非均质性和各向异性的特点。因此，岩土体的性质不仅与岩土本身的性质有关，更重要的还与岩土体的结构有关。

岩土体性质的研究一般采用的是地质学方法和专门的试验方法。因为岩土体是地质体的一部分，是自然历史的产物，在岩土体的形成和变化过程中，各有其相应的物质组成和结构，表现出不同的工程地质性质，只有采用地质学的自然历史分析法，才能正确地认识岩土体工程地质性质形成的原因和演变的历史、目前状态及今后的变化趋势。然而，地质学方法所得的结果往往是定性的，不能满足工程设计和施工的需要。为了定量说明岩土体工程地质性质，定量评价有关的工程地质问题，必须采用专门的试验方法，即取样进行室内试验或现场原位检测，以获得表征岩土体工程地质性质的各种定量指标。这两种方法关系极为密切，一般地质学方法是岩土体工程地质研究的基础，专门试验方法则是前者的深入和继续。只有通过试验获得的各种数据与地质学方法得出的正确结论结合起来，才能对

2 ▶▶ 岩土室内检测

岩土体性质及其变化，以及各种工程地质问题做出评价。

(二) 岩土检测基本要求

因为岩石和土性质差异较大，实验室对岩土进行检测时，会将岩石和土分别进行检测研究。鉴于土样检测时会因为表面状态不同检测项目也不同，因此，本教材中将土样按颗粒成分差异和表面性状不同，分为非黏性土检测、黏性土检测、混合土及特殊土检测三个部分。非黏性土指的是表面上颗粒分离，颗粒间无黏结力的土体，也是通常所说的砂土和颗粒比砂土更大的土。黏性土指的是颗粒之间黏结的土，通常所说的粉土和黏土就属于黏性土。混合土为黏性土中混有粗大颗粒的土。特殊土因为具有特殊的性质，检测项目也不同，因此本教材将几种特殊土单独进行检测分析。

1. 土样取样要求

因为岩土体的特殊性，在进行岩土体试验时，一般都要要求试样具有代表性，且要做多组平行检测，因此对取样数量进行了规定。采样数量应满足要求进行的试验项目和试验方法的需要，采样数量按表 0-1-1 规定采取，并应附取土记录及土样现场描述。

表 0-1-1 试验取样数量和过土筛标准

种类 试验项目	黏土		砂土		过筛标准 mm
	原状土(筒) Φ10 cm×20 cm	扰动土/g	原状土(筒) Φ10 cm×20 cm	扰动土/g	
含水率		800		500	
土粒比重		800		500	
颗粒分析		800		500	
界限含水率		500			0.5
密度	1		1		
固结	1	2000			2.0
黄土湿陷	1				
三轴压缩	2	5000		5000	2.0
膨胀、收缩	2	2000		8000	2.0
直接剪切	1	2000			2.0
击实承载比		轻型>15000 重型>30000			5.0
无侧限抗压强度	1				
反复直剪	1	2000			2.0
相对密度				2000	
渗透	1	1000		2000	2.0
化学分析		300			2.0
离心含水当量		300			0.5

2. 土样的验收与管理

1) 土样送达试验单位, 必须附送样单及试验委托书或其他有关资料。送样单应有原始记录和编号。内容应包括工程名称、试坑或钻孔编号、高程、取土深度、取样日期。如原状土应有地下水位高程、土样现场鉴别和描述及定义、取土方法等。试验委托书应包括工程名称、工程项目、试验目的、试验项目、试验方法及要求。例如原状土进行力学试验时, 试样是在天然含水率状态下还是饱和状态下进行; 剪切试验的仪器(三轴或直剪); 剪切试验方法(快剪, 固快, 不固结不排水, 固结不排水等); 剪切和固结的最大荷载; 渗透试验是垂直还是水平方向, 某级荷载或某干密度(孔隙比)下的固结系数或湿陷渗透系数; 黄土压缩试验须提出设计荷载。扰动土样的力学性试验要提出初步设计干密度和施工现场可能达到的平均含水率等。

2) 试验单位接到土样后, 应按试验委托书验收。验收中需查明土样数量是否有误, 编号是否相符, 所送土样是否满足试验项目和试验方法的要求。必要时可抽验土样质量, 验收后登记、编号。登记内容应包括: 工程名称、委托单位、送样日期、土样室内编号和野外编号、取土地点和取土深度、试验项目的要求以及要求提出成果的日期等。

3) 土样送交试验单位验收、登记后, 即将土样按顺序妥善存放, 应将原状土样和保持天然含水率的扰动土样置于阴凉的地方, 尽量防止扰动和水分蒸发, 土样从取样之日起至开始试验的时间不应超过3周。

4) 土样经过试验之后, 余土应储存于适当容器内, 并标记工程名称及室内土样编号, 妥善保管, 以备审核试验成果之用。一般保存到试验报告提出3个月以后, 委托单位对试验报告未提出任何疑义时, 方可处理。

5) 处理试验余土时, 要考虑余土对环境的污染、卫生等要求。

3. 岩石检测一般要求

1) 岩石试验应符合工程实际, 结合勘测设计阶段, 在了解工程地质条件、设计意图、建筑物特点和施工方法的基础上进行。试验数据应保证准确可靠。

2) 试验用岩样, 必须体现工程实际要求, 采用钻孔、平硐、槽探、竖井等采样方法, 采取具有代表性的岩心或岩块。同组岩样的岩性应基本相同; 岩样必须保持天然湿度, 应有防止水分蒸发或侵入的密封措施; 岩样应存放在阴凉及温度变化不大的地方。层状岩石应注明产状及岩样方位。

3) 岩样的检查与验收主要应检查岩样是否完整无损、密封完好、数量足够, 岩样标签与送样单填写内容(包括: 送样单位、送样编号、工程名称、取样地点和里程、取样深度、岩样状态、地层年代、工地鉴定岩石名称、矿物成分、结构、构造、风化程度以及试验项目等)是否一致, 并逐一登记编号, 编号宜用红色磁漆标于岩样的醒目处。验收后的岩样应存放在干燥、阴凉、避免日晒及温差不大的样品室中。

4) 岩样加工应根据岩石性质和试验条件, 采用不同方法。一般质地均匀较坚硬, 又不要求保持天然湿度的岩样, 可用湿法加工(制备中所用冷却水应是洁净的自来水); 对于制备遇水易软化解体的岩样, 应采用干法加工; 对于加工必须保持天然湿度的岩样, 在制备中应保持岩样湿度与原天然湿度的数值相差不大于1%。

5) 岩样规格与数量应满足表0-1-2的规定。

表 0-1-2 岩样规格和数量

序号	试验项目		岩样状态	用途	岩心/节		岩块/块
					$\Phi \geq 7\text{ cm}$		$15 \leq L \leq 25\text{ cm}$
					$L > 15\text{ cm}$	$L > 15\text{ cm}$	$10 \leq W \leq 20\text{ cm}$ $10 \leq H \leq 15\text{ cm}$
1	物理性质	含水率、颗粒密度、岩石密度、吸水率、饱和吸水率	不同含水状态	地基、边坡、隧道、石材	5 cm×5 cm×5 cm 或 $\Phi 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, 3 块/项(当同时做力学试验时, 可用作力学试样, 不需另行取样)		
2	抗冻性	直接冻融法、硫酸钠法	干燥	地基、边坡、石材	5 cm×5 cm×5 cm 或 $\Phi 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, 3 块/项(当同时做力学试验时, 可用作力学试样, 不需另行取样)		
3	膨胀性	自由膨胀率	天然湿度	地基、边坡、隧道	1	1	1
		膨胀率			1	1	
		膨胀压力			1	1	
4	耐崩解指数		干燥	地基、边坡、隧道	1	1	1
5	单轴抗压强度		干燥	地基	4	3	2
			饱和		4	3	
			冻融		4	3	
			干燥	石材	3	2	2
			饱和		3	2	
			冻融		3	2	
6	单轴压缩变形参数		干燥	地基	4	3	3
7	点荷载		不同含水状态	地基、边坡、隧道、石材	岩心(直径) $d \geq 3\text{ cm}$	径向 $L/d \geq 1$, 试样 10~12 个/组	
						轴向 D/d 为 0.75~1.00, 试样 10~12 个/组	
8	抗拉强度 (劈裂法或拉伸法)		干燥	地基	岩块(最短边宽) $W \geq 3\text{ cm}$	D/L 为 0.75~1.00, 方块 10~15 个/组, 不规则 15~20 个/组	
			饱和			2	4
9	抗剪强度(角模剪)		干燥	地基	7	4	4
			饱和		7	4	
10	直剪	岩石	不同含水状态	地基、边坡、隧道	$\geq 5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 试样不少于 15 个/组		
		结构面			$\geq 20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 试样不少于 15 个/组		
		胶结面			$\geq 10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 试样不少于 15 个/组		
11	三轴			地基	5	3	3
12	声波速度		同单轴抗压强度试验				
13	薄片鉴定		2.5 cm×3 cm×0.3 cm 试样 2 个/组				
14	黏粒与岩矿鉴定		代表性岩样约 1 kg				

注: L 为长度; W 为宽度; H 为高度; d 为直径; D 为施加荷载点间距。

(三) 岩土室内检测常用规范

1) 土样检测依据的主要规范有:《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007),《土工试验方法标准(2007版)》(GB/T 50123—1999),《公路土工试验规程》(JTG E 40—2007),《土工试验规程》(SL 237—1999)。

2) 岩样检测依据的主要规范有:《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266—2013),《公路工程岩石试验规程》(JTG E 41—2005),《铁路工程岩石试验规程》(TB 10115—1998)。

3) 水土腐蚀性分析依据的主要规范有:《公路工程水质分析操作规程》(JTJ 056—84),《岩土工程勘察规范(2009年版)》(GB 50021—2001)。

【要点回顾】

本预备知识主要讲述岩土体基本概念,取样和检测一般要求及检测依据标准。通过学习使学生掌握检测必备基本知识和常用规范。

【学后测评】

- (1) 岩土体有哪些特性?
- (2) 土样验收时应注意哪些问题?
- (3) 岩样验收时应注意哪些问题?

预备知识二 土的物质组成及结构

【学习目标】

- 1) 掌握土的物质组成。
- 2) 掌握土的结构和构造。

【学习内容】

(一) 土的物质组成

土通常是由固体、液体和气体三部分所组成的三相体系。固体部分，一般是由许多大小不等、形状不同的矿物颗粒（有时含有机质）按照不同的排列方式组合在一起，构成土的骨架，称为土粒，是土的最主要组成部分。土的骨架间布满相互贯通的孔隙，这些孔隙有时完全被水充满，有时一部分被水占据，另一部分被气体（主要为空气）占据。土颗粒、水和气体这三个基本组成部分不是彼此孤立地、机械地混合在一起，而是相互联系、相互作用，共同形成土的工程特性。因此，各种土中三相物质组成的自身特性、它们之间的相对比例关系和相互作用，是决定土的工程地质性质的最本质的因素。三相物质组成是构成土的工程地质性质的物质基础。

土粒是土的主要组成部分，也是最稳定、变化最小的成分。在三相之间相互作用的过程中，土粒一般占主导地位。在天然土体中遇到的固体颗粒的粒径范围很大。在进行土的工程地质研究时，首先从土粒大小组合、土的矿物成分等来考虑。当土中含有液态水时，由于细小的土粒（尤其是黏粒）带有电荷，对极性水分子有吸引力，从而影响土的工程地质性质。土中的气体对土的性质有一定的影响。

土的物理性质是研究土的三相（固相、液相、气相）的质量与体积间的比例关系以及固液两相相互作用表现出来的性质。前者称为土的基本物理性质，主要研究土的密实程度和干湿状况；后者主要研究黏性土的可塑性、胀缩性、土的透水性及毛细性。土的物理性质是重要的工程地质性质，它影响着土的力学性质，其指标在工程计算中直接被运用。为分析和阐述方便，引用了土的三相示意图（图 0-2-1）。

水和气体充填于土粒空隙之间，气体的质量 m_a 可忽略不计，则有： $V = V_s + V_v = V_s + V_a + V_w$ ， $m = m_s + m_w + m_a$ ，因为 $m_a \approx 0$ ，所以有 $m = m_s + m_w$ 。

1. 土中的矿物成分

土中的固体颗粒是由矿物构成的。按其成因和成分首先分为原生矿物、次生矿物和有机质。

(1) 原生矿物

指母岩风化后残留的化学成分没有发生变化的矿物，组成土的原生矿物主要有石英、长石、角闪石、云母等，有时方解石、白云石等碳酸盐矿物也可以包括在这类矿物中。这些矿物是组成土中卵石、砾石、砂粒和粉粒的主要成分。

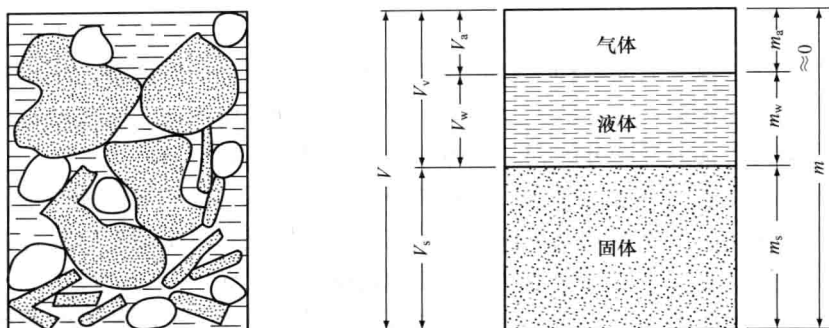


图 0-2-1 土的三相示意图

V —土的总体积； V_s —土中固体颗粒的体积； V_v —土中孔隙的体积；

V_w —土中水的体积； V_a —土中气体的体积； m —土的总质量；

m_s —土的固体颗粒的质量； m_w —土中水的质量； m_a —土中空气的质量（一般认为 $m_a \approx 0$ ）

原生矿物是岩石经物理风化后的产物，其主要特点是颗粒粗大，物理、化学性质稳定或较稳定，具有较强的抗水性和抗风化能力，亲水性弱或较弱。因此，它们对土的工程地质性质影响程度比其他几种矿物要小得多。它们对土的工程地质性质的影响主要表现在颗粒的形状、坚硬程度和抗风化稳定性等方面。

（2）次生矿物

母岩风化后及在风化搬运过程中，继续遭受化学风化作用，使原来的矿物因氧化、水化、水解或溶解等化学风化作用而进一步分解，形成一种新矿物，颗粒变得更细，甚至形成胶体，这种矿物称为次生矿物。自然界土体中常见的次生矿物又分为两种类型：一种是原生矿物中的一部分，可溶的物质被溶滤到别的地方沉淀下来，形成“可溶性的次生矿物”；另一种是原生矿物中可溶的部分被溶滤后，残存的部分性质已改变，形成了新的“不可溶性矿物”。

可溶性次生矿物又称为可溶盐矿物，通常以离子状态存在于土的孔隙溶液中。阳离子有 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 等，阴离子有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 S^{2-} 等。当土中含水量降低（如蒸发作用影响）或介质溶液的 pH 值发生变化时，这些矿物便会结晶析出在土颗粒表面，在土中起暂时性胶结作用。当外部条件发生变化时，如土中含水率增加，结晶的盐类会重新溶解，先前的暂时性胶结将部分或全部丧失。

自然界中常见的不可溶解的矿物是游离氧化物和黏土矿物。游离氧化物在土中的分布比较广泛，大多呈凝胶状，部分呈微结晶，颗粒极细小，在土体中均构成细小黏粒。在自然界中性质稳定，亲水性较强，胶结能力十分强，是一种较好的胶结物。游离氧化物是由 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Si^{4+} 、 O^{2-} 、 OH^- 和 H_2O 等组成的矿物，如针铁矿（ $FeO(OH)$ ）、褐铁矿（ $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ）、三水铝石（ $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ）、含多个结晶水的二氧化硅（ $SiO_2 \cdot nH_2O$ ）等。

黏土矿物是原生矿物中的长石及云母等硅酸盐类矿物经化学风化而形成的，主要类型有高岭石类矿物、伊利石类矿物和蒙脱石类矿物等。

(3) 有机质

工程上俗称的软土（包括淤泥和淤泥质土）及泥炭中，富含有机质。土中有机质是动植物残骸和微生物以及它们的各种分解和合成产物。通常把分解不完全的植物残体称为泥炭，其主要成分是纤维素；把分解完全的动、植物残骸称为腐殖质。有机质对土的工程性质的影响主要取决于其龄期和分解程度，即取决于有机质的数量及性质。

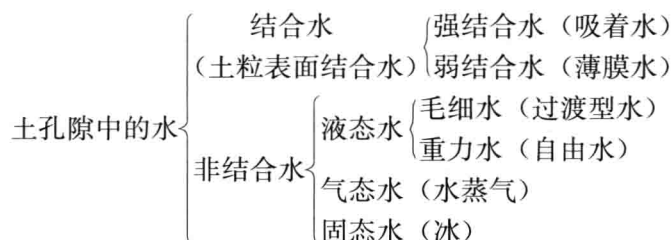
扫描电镜下腐殖质呈多孔海绵状，颗粒细小，这决定了它极具活性和亲水性。通常腐殖质并不单独存在，而是紧紧地吸附在矿物颗粒表面，形成有机质即矿物复合体。

从工程观点看，有机质（特别是分解完全的腐殖质）会导致土的塑性增强，压缩性增高，渗透性减小，强度降低。一般地，土中有机质含量超过 1% 时，采用堆载预压和水泥土搅拌进行处理不会取得明显改良效果。

2. 土中的水

在自然条件下，土中总是含有水分的。饱和土中的孔隙完全被水溶液充填。如果是非饱和土，除水之外，还有气体充填其间。其中，水的数量、类型和性质对土性质的影响尤为重要。

土中的水可分为矿物中的结合水和土孔隙中的水。矿物中的结合水仅存在于土粒矿物结晶格架内部或参与矿物晶格构成，称为矿物内部结合水或结晶水。只在数百度高温下析出而与土粒分离，我们通常把它当作矿物颗粒的一部分。土孔隙中的水，按其所呈现的状态和性质及其对土的影响，分为结合水和非结合水两种类型，如下所示：



(1) 结合水

结合水是指受分子引力、静电引力等作用而吸附于土粒表面的水。土中的粗颗粒不会吸附孔隙中的水，只有细小的黏粒才会把孔隙中的水分子牢牢吸附在自己周围，形成一层水膜。

强结合水又称为吸着水，是被土粒表面牢固吸附的极薄水层，其厚度相当于几个水分子层。由于受土粒表面强大引力（可达 10^6 kPa）作用，吸着水完全不同于液态水，吸着水密度大，可达 $1.5 \sim 1.8 \text{ g/cm}^3$ ；力学性质类似固体，具有极大的黏滞性、弹性、抗剪强度；不能传递静水压力、不能导电，也没有溶解能力；冰点为 -78°C 。黏性土只含强结合水时呈固态，碾碎后呈粉末状。

弱结合水又称为薄膜水，距土粒稍远，位于强结合水层的外围，是结合水膜的主要部分。弱结合水层仍呈定向排列，但定向程度及与土粒表面联结的牢固程度均不及强结合水。其主要特点是：密度比强结合水小，但仍比普通液态水大；具有较高的黏滞性、弹性、抗剪强度；不能传递静水压力，也不导电；冰点低于 0°C 。弱结合水层厚度的大小是决定细粒土物理力学性质的重要因素，这一点将在后面论述。

总之，结合水的性质不同于普通液态水，不受重力影响，主要存在于细粒土中，土粒

表面静电引力对水分子起主导作用。强结合水具有固体的特性，我们把它归为固相部分。弱结合水层（又称为结合水膜）的厚度变化是决定细粒土物理力学性质的重要因素之一。随着距土粒表面距离增大，静电引力减小，土中水逐渐过渡到非结合水。

（2）非结合水

非结合水是指土粒孔隙中超出土粒表面静电引力作用范围的普通液态水。主要受重力作用控制，能传递压力并导电，溶解盐分，在摄氏零度结冰，其典型代表是重力水。介于重力水和结合水之间的过渡类型水为毛细水。

A. 毛细水

毛细水是在土的细小孔隙中，由毛细力作用（土粒的分子引力和水与空气界面的表面张力共同作用引起）而与土粒结合，存在于地下水面以上的一种过渡类型水。其形成过程可用物理学中的毛细管现象来解释。水与土粒表面的浸湿力（分子引力）使接近土粒的水上升而使孔隙中的水面形成弯液面，水与空气界面的黏聚力（表面张力）则总是企图将液体表面积缩至最小，使弯液面变为水平面。但当弯液面的中心部分有所升起时，水面与土粒间的浸湿力又立即将弯液面的边缘牵引上去。这样，浸湿力使毛细水上升，并保持弯液面，直到毛细水柱的重力与弯液面表面张力向上的分力平衡时，水才停止上升。这种由弯液面产生的向上拉力称为毛细力，由毛细水维持的水柱部分水称为毛细水。

毛细水主要存在于直径为 $0.002 \sim 0.5 \text{ mm}$ 的毛细孔隙中。孔隙更小者，土粒周围的结合水膜有可能充满孔隙而不存在毛细水。粗大的孔隙，毛细力极弱，难以形成毛细水。故毛细水主要存在于粉砂、细砂、粉土和粉质黏土中。

毛细水对土的工程性质的影响主要表现在以下几个方面：

1) 在非饱和的砂类土中，土粒间可产生微弱的毛细水联结，增加土的强度。但当土体浸水饱和或失水干燥时，土粒间的弯液面消失，由毛细力产生的粒间联结也随之消失。因此，出于安全及从最不利可能条件考虑，工程设计中一般不计入由毛细水产生的强度增量，反而必须考虑由于毛细水上升使土的含水量增加，从而降低土的强度以及增大土的压缩性等不利影响。

2) 当毛细水上升接近建筑物基础底面时，毛细压力将作为基底附加压力的增值，从而增加建筑物沉降量。

3) 当毛细水上升至地表时，不仅能引起沼泽化、盐渍化，也会使地基、路基土浸湿，降低土的力学强度；在寒冷地区，还将加剧冻胀作用。

B. 重力水

重力水也称自由水，存在于较粗大孔隙（如中粗砂、碎石土中的孔隙）中，具有自由活动能力，在重力作用下能自由流动。重力水流动时，产生动水压力，能冲刷带走土中的细小颗粒，这种作用称为机械潜蚀。重力水还能溶滤土中的水溶盐，这种作用称为化学潜蚀。两种潜蚀作用将使土的孔隙增大，增大土的压缩性，降低土的强度。同时，地下水面以下饱水的土对有上部工程结构的建筑物有重力水的浮托作用，土的承载力还将相对减小。

C. 气态水和固态水

气态水以水汽状态存在，从气压高的地方向气压低的地方移动。水气可在土粒表面凝

聚并转化为其他各种类型的水。气态水的迁移和聚集使土中水和气体的分布状况发生变化,从而改变土的性质。

常压下,当温度低于 0°C 时,孔隙中的自由水冻结呈固态,往往以冰夹层、冰透镜体、细小的冰晶体等形式存在于土中。冰在土中起暂时胶结作用,提高了土的强度,但解冻后,土体的强度反而会降低,因为从液态水转为固态水时,体积膨胀,使土中孔隙增大,解冻后土的结构变得松散。

3. 土中的气体

土中的气体,主要为空气和水汽,但有时也可能含有较多的二氧化碳、沼气和硫化氢等,这些气体大多因生物化学作用生成。

气体在土的孔隙中有两种不同存在形式。一种是封闭气体,另一种是游离气体。游离气体通常存在于近地表的包气带中,与大气连通,随外界条件改变与大气有交换作用,处于动平衡状态,其含量的多少取决于土孔隙的体积和水的充填程度;它一般对土的性质影响较小。封闭气体呈封闭状态存在于孔隙中,通常是由于地下水面上升,而土的孔隙大小不一,使部分气体没能逸出而被水包围,与大气隔绝,呈封闭状态存在于部分孔隙内。它对土的性质影响较大,如降低土的透水性和使土不易压实等。饱水黏性土中的封闭气体在压力长期作用下被压缩后,具有很大内压力,有时可能冲破土层逸出,造成意外沉陷。

在淤泥和泥炭质土等有机土中,由于微生物的分解作用,土中聚积有某种有毒气体和可燃气体,例如 CO_2 、 H_2S 和甲烷等,其中尤以 CO_2 的吸附作用最强,并埋藏于较深的土层中,含量随深度增大而增多。土中这些有害气体的存在不仅使土体长期得不到压密,增大土的压缩性,而且当开挖地下工程揭露这类土层时会严重危害人的生命安全。

(二) 矿物与土的工程地质性质的关系

1. 各类矿物对土的工程地质性质的影响

原生矿物是岩石经物理风化后的产物,其主要特点是颗粒粗大,物理、化学性质稳定或较稳定,具有较强的抗水性和抗风化能力,亲水性弱或较弱。因此,它们对土的工程地质性质影响程度比其他几种矿物要小得多。它们对土的工程地质性质的影响主要表现在颗粒的形状、坚硬程度和抗风化稳定性等方面。

可溶盐次生矿物按溶解度大小可分为易溶盐、中溶盐和难溶盐。例如,我国北方地区的黄土,粒间以微晶碳酸钙和硫酸钙(难溶盐类)胶结,浸水受压后容易发生突然沉陷。还有一种见于青海地区的盐土,颗粒成分和外观与黄土相似,不同的是粒间以微晶氯化钠和氯化镁(易溶盐类)胶结,遇水后湿陷特别快。

大多数土中,游离氧化物仅仅是其中的次要成分,但它起的作用却不容忽视。它们大多呈凝胶状,部分呈微结晶,颗粒极为细小,性质稳定,亲水性弱,胶结能力强。它们或是包裹在颗粒表面,或是沉淀在贯通的孔隙壁上,将土粒牢固地胶结在一起。我国南方的红土,其所含水分和孔隙数量与软土相当,但工程性质却比软土好得多,原因就在于红土中游离氧化物含量较高,且多在粒间起稳定的胶结作用,大大提高了红土的结构联结强度,使之具有较高的承载能力和较低的变形特性。