

高等学校工程应用型土建类系列教材

# 土力学

第三版

主 编 姚仰平  
副主编 徐新生 罗 汀

高等教育出版社

土木类系列教材

# 土力学

TULIXUE

第三版

主 编 姚仰平  
副主编 徐新生 罗 汀

高等教育出版社·北京

## 内容提要

本书是高等学校工程应用型土建类系列教材之一,是在第二版(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)的基础上修订而成的。

全书共 8 章,内容包括土及其基本性质,渗流、流土和湿化,弹性地基中的应力与变形,地基的沉降,土的抗剪强度及其参数确定,挡土墙上的土压力,地基承载力,边坡稳定性分析等土力学的基本内容。

本书的编写是按照“从实践中来,到实践中去,介绍土力学的基本理论”的思路进行的,易读易懂,可作为高等院校土木工程专业及相关专业的本科教材,还可供相关专业人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

土力学 / 姚仰平主编. -- 3 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2016.8

高等学校工程应用型土建类系列教材

ISBN 978-7-04-046019-3

I. ①土… II. ①姚… III. ①土力学-高等学校-教材 IV. ①TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 173361 号

策划编辑 葛心      责任编辑 葛心      封面设计 杨立新      版式设计 马敬茹  
插图绘制 杜晓丹      责任校对 王雨      责任印制 田甜

出版发行	高等教育出版社	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码	100120	网上订购	<a href="http://www.hepmall.com.cn">http://www.hepmall.com.cn</a>
印 刷	三河市吉祥印务有限公司		<a href="http://www.hepmall.com">http://www.hepmall.com</a>
开 本	787mm×960mm 1/16		<a href="http://www.hepmall.cn">http://www.hepmall.cn</a>
印 张	14.75	版 次	2004 年 11 月第 1 版
字 数	260 千字		2016 年 8 月第 3 版
购书热线	010-58581118	印 次	2016 年 8 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	23.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 46019-00

## 高等学校工程应用型土建类系列教材编委会名单

### 主任委员：

汤放华(湖南城市学院)

### 副主任委员(按姓氏笔画排序)：

张建勋(福建工程学院)

武 鹤(黑龙江工程学院)

周 云(广州大学)

周先雁(中南林业科技大学)

唐 勇(山东交通学院)

黄双华(攀枝花学院)

麻建锁(河北建筑工程学院)

### 委员(按姓氏笔画排序)：

万德臣(山东交通学院)

马石城(湘潭大学)

王用信(哈尔滨华德学院)

王永春(青岛理工大学)

王振清(河南工业大学)

王新堂(宁波大学)

石启印(江苏大学)

申向东(内蒙古农业大学)

白宝玉(长春建筑学院)

司马玉洲(南阳理工学院)

刘海卿(辽宁工程技术大学)

刘锡军(湖南科技大学)

李晓目(孝感学院)

李 斌(内蒙古科技大学)

李 毅(北华大学)

杨伟军(长沙理工大学)

## II 高等学校工程应用型土建类系列教材编委会名单

肖 鹏(扬州大学)  
何培玲(南京工程学院)  
余跃心(淮阴工学院)  
汪仁和(安徽理工大学)  
沈小璞(安徽建筑工业学院)  
张文福(大庆石油学院)  
张志国(内蒙古大学)  
张国栋(三峡大学)  
张季超(广州大学)  
张 奎(平顶山工学院)  
张新东(塔里木大学)  
陈 伟(攀枝花学院)  
陈伯望(中南林业科技大学)  
郑 毅(长春建筑学院)  
赵风华(常州工学院)  
赵永平(黑龙江工程学院)  
赵明耀(长春建筑学院)  
荀 勇(盐城工学院)  
姚金星(长江大学)  
贺国京(中南林业科技大学)  
夏军武(中国矿业大学徐海学院)  
徐新生(济南大学)  
高福聚(中国石油大学)  
常伏德(长春建筑学院)  
董 黎(广州大学)  
蓝宗建(东南大学成贤学院)  
窦立军(长春工程学院)  
蔡雪峰(福建工程学院)  
臧秀平(徐州工程学院)  
谭宇胜(茂名学院)  
薛志成(黑龙江科技学院)  
薛 姝(湖南城市学院)

## 第三版前言

本书是高等学校工程应用型系列教材之一,是在第一版(教育科学“十五”国家规划课题研究成果)和第二版(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)的基础上,根据多年来的教学实践经验,以及《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)等最新的规范和标准修订而成。

本次修订,主要针对2011年以来国家颁布的新标准、规范,对原书中相关内容进行了更新;适当增加了一些新的案例,使本书更加注重理论联系实际,注重用土力学理论解决实际问题的方法;同时,本次修订对新发现的一些错误及不足也进行了及时更正。

本书绪论及第1、2、3、5、7章由北京航空航天大学的姚仰平、罗汀编写;第4、6、8章由济南大学的徐新生、徐尧编写。全书内容精练,重点突出,概念清楚,注重理论与实践相结合,形成了自己的特色。

北京交通大学赵成刚教授审阅了本书,在此表示诚挚的感谢!同时感谢国家重点基础研发计划(2014CB047000)的支持。

感谢读者们长期以来对本教材的支持,希望新版《土力学》教材能继续得到读者们的关注与支持,并恳请对书中的不足提出批评和指正。

编者

2016年4月

于北京航空航天大学

## 第二版前言

本书第一版(教育科学“十五”国家规划课题研究成果)按照“从实践中来,到实践中去,介绍土力学的基本理论”的思路编写完成,内容精练,形成了自己的特色。自2004年11月出版以来,得到了许多同行的认可和读者的欢迎,第二版被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本次修订根据第一版读者的反馈意见和编者在使用过程中所发现的一些不足进行了完善和修改。主要有以下几个方面:

1. 保持了原版教材强调基本概念、基本理论和基本原理的特点。
2. 加强了利用基本概念分析实际工程问题的内容,以加深读者对基本知识的掌握。
3. 适当增加了例题、习题和思考题。
4. 调整、修订了部分内容,以便于教学和学生自学。

本次修订工作仍由第一版编者完成,分工没有变化,最后的统稿工作由北京航空航天大学罗汀教授完成。

本次修订承北京交通大学赵成刚教授审阅,得到了北京航空航天大学、安徽理工大学、济南大学各级领导和同事们的关心、支持和帮助,在此向以上相关人员表示衷心的感谢!同时特别感谢高等教育出版社对本书的出版所给予的大力支持!

希望本次修订出版后能继续得到读者们的关注,并恳请对书中的不足提出批评和指正。

编者

2010年8月

# 第一版前言

在土木工程建设中,土被广泛地用作各种建筑物、构筑物的地基。对土的各种特性的研究直接源于土木工程实践,土的基本理论的提出又服务于土木工程实践,并在实践中得到发展。例如,土力学中的流网理论、固结理论和强度理论等就分别针对着实践性很强的渗流、沉降、挡土墙上土压力、地基承载力和边坡稳定性等问题而提出的。所以,编者在确定本教材的编写指导思想时,结合教育科学“十五”国家规划的要求,经过反复讨论和思考,最终确定为“从实践中来,到实践中去,介绍土力学的基本理论”的编写方案。“从实践中来”就是讲清楚土力学基本理论的工程背景;“到实践中去”就是解决好土力学基本理论的应用问题,通过各种例题加深读者对基本概念的理解和掌握;“介绍土力学的基本理论”就是在保证基本知识体系完整的条件下,介绍土力学的基本概念、基本原理和基本计算方法,不追求大而全的体系。编者在编写中试图尽量按照这个思路来做,是否能达到预期的目标还有待读者们评判。

本书共分8章,绪论及第2、3、5章由北京航空航天大学姚仰平、罗汀编写;第1、7、8章由安徽理工大学汪仁和编写;第4、6章由济南大学徐新生、徐尧编写。北京交通大学赵成刚教授审阅了本书,并提出了许多宝贵的建议,在此表示诚挚的感谢。

在此,要感谢高等教育出版社对本书出版工作的大力支持,也要感谢北京航空航天大学罗佳、周安楠同学对本书出版所做的工作。由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请广大读者多提宝贵意见。编者将会非常感谢!并在今后的修订中给予考虑。

编 者

2004年7月23日



# 目 录

绪论	(1)
第 1 章 土及其基本性质	(3)
1.1 土的生成和种类	(3)
1.2 土的基本物理量	(7)
1.3 土的分类	(13)
1.4 土的工程分类	(19)
1.5 土的压实特性	(28)
1.6 地基勘察	(31)
思考题	(37)
习题	(37)
第 2 章 渗流、流土和湿化	(39)
2.1 达西定律	(39)
2.2 流网理论简介	(48)
2.3 流土、管涌及其防治	(51)
2.4 非饱和土的湿化及其危害	(56)
思考题	(58)
习题	(58)
第 3 章 弹性地基中的应力与变形	(60)
3.1 自重应力	(61)
3.2 基底的接触压应力	(64)
3.3 各种荷载作用下地基内的附加应力	(68)
3.4 饱和土的有效应力原理	(81)
3.5 弹性地基的变形	(81)
思考题	(87)
习题	(87)
第 4 章 地基的沉降	(89)
4.1 土的压缩性	(90)
4.2 地基最终沉降量的计算	(97)
4.3 单向固结理论	(113)
4.4 固结沉降随时间变化的预测	(117)
4.5 与固结相关的施工方法	(122)

## II 目录

思考题 .....	(123)
习题 .....	(124)
<b>第5章 土的抗剪强度及其参数确定 .....</b>	<b>(127)</b>
5.1 土的破坏准则 .....	(128)
5.2 土的抗剪强度参数确定 .....	(133)
5.3 土的应力应变特性 .....	(143)
5.4 有效应力路径及其在工程问题分析中的应用 .....	(147)
思考题 .....	(155)
习题 .....	(155)
<b>第6章 挡土墙上的土压力 .....</b>	<b>(156)</b>
6.1 主动土压力、被动土压力和静止土压力 .....	(157)
6.2 朗肯土压力理论 .....	(158)
6.3 库仑土压力理论 .....	(169)
6.4 挡土墙变形与土压力分布 .....	(174)
思考题 .....	(176)
习题 .....	(176)
<b>第7章 地基承载力 .....</b>	<b>(179)</b>
7.1 地基的破坏形式 .....	(179)
7.2 浅基础的承载力 .....	(181)
7.3 深基础的承载力 .....	(198)
思考题 .....	(200)
习题 .....	(200)
<b>第8章 土坡稳定分析 .....</b>	<b>(201)</b>
8.1 无黏性土土坡的稳定性分析 .....	(202)
8.2 黏性土土坡的稳定性分析 .....	(204)
8.3 土坡稳定问题的讨论 .....	(220)
思考题 .....	(221)
习题 .....	(222)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(223)</b>

# 绪 论

土是地壳表层母岩经受强烈物理、化学和生物风化作用的产物,是各种矿物颗粒的集合体。颗粒间的联结强度远比颗粒本身强度小,有的颗粒间甚至没有联结。一般情况下,土颗粒间有大量的孔隙,而孔隙中通常有水和空气。多孔性和散体性是土的最基本的结构特征。土区别于固体材料(如金属)和流体材料(如水),有以下三方面的重要特征:

(1) 土通常是由土颗粒、水和空气组成的三相混合体。只含有土颗粒和水而没有空气的土称为饱和土。只含有土颗粒和空气而没有水的土称为干燥土。位于两者之间,由土颗粒、水和空气三者共同组成的土称为非饱和土。对于这样的多相混合体,不仅要考虑土体整体的性质和运动规律,还应考虑组成土体各相的性质和运动规律。本书将要介绍的水在土体中的渗流规律及“有效应力”等内容就是由于土是多相混合体而产生的。

(2) 土的本质在于它是离散的颗粒的集合体。这样的集合体既不是气体,也不是液体,也不是固体(土颗粒本身是固体),而是称之为“粒状体”的集合体。容易理解,砂土就是这样的粒状体的集合体。通常会产生这样的疑问,这样的材料怎么能支撑得住构筑物呢?土体基本颗粒间的黏聚力几乎不存在,只是依靠土颗粒间的摩擦力承受荷载,所以土的变形和破坏受“摩擦规则”的支配。土具有称之为“压硬性”的特性,即土所受的周围约束压力越大,就越密实,其模量也越大,抗剪强度也越高,表现出“越硬”的性状。

(3) 土在受剪时,由于土颗粒之间在荷载作用下位置相互错动,随着剪切变形的增加会产生体积变化。在一定的周围约束压力下,比较松散的土会表现出体积压缩的特性;相反,比较密实的土则表现出体积膨胀的特性。这种受剪时土体积变化的特性称之为“剪胀性”。

土所表现出的以上特性是一般固体力学和流体力学研究对象所没有的,所以研究这种特殊材料的力学特性的学科——“土力学”就诞生了。自1925年太沙基发表第一本《土力学》著作以来,土力学已经发展成一门利用力学知识和土工试验技术来研究土的强度和变形规律的独立学科。该学科主要研究土的基本物理力学性质、土体中水的渗透规律、土体中各种条件下应力的计算、外荷载作用下土体的变形计算(考虑时间特点)、土的强度及土体的稳定性分析方法(地基承载力、土坡稳定性和作用于挡土墙上的土压力)等。

## 2 绪论

目前,土力学教材中介绍的内容属于经典土力学的范畴,一般认为其发展的时间为1925—1956年,主要影响人物是太沙基。而科学土力学的开始,则以英国剑桥大学等从1956年起联合开展的关于土体应力应变特性的研究为标志。近一个世纪以来,土力学科技工作者在土的抗剪强度理论、土的应力应变模型、土的固结理论和土体稳定性分析等方面取得了有目共睹的发展,其成果在土木工程的实践中发挥了巨大的作用。成功运用土力学的原理解决复杂工程问题的例子比比皆是,如比萨斜塔在20世纪80年代濒临倾覆,1990年曾对游人关闭,经过世界范围内许多岩土工程专家十多年的抢修加固,先后采用底部加箍、北部堆载、设置拉锚、地基应力解除等措施,已于2001年纠偏成功。

在我国许多重大工程(如长江大桥、三峡工程、南水北调等)都涉及复杂的岩土工程问题。利用土力学知识解决其中的疑难问题,凝聚着几代岩土工程师们的智慧。

土是天然的产物,不是人类按照某种配方制造出来的。土体的不均匀性、各向异性等形成了土与钢材和混凝土等材料完全不同的特性。所以,在学习土力学的过程中,要把掌握定性的基本概念与定量的基本计算方法放在同等重要的地位。定量计算是工程设计的依据,而定性分析则是解决岩土工程疑难问题的常见方法。

由于自然地理环境的不同,地表层分布的土也是多种多样的。某些土类(如湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土及人工合成土等)还具有不同于一般土的特殊性质。针对其特殊的性质又形成了各种专门的土力学分支。当这些土类用作地基时,针对其特性还应采取与之相适应的工程措施。这些内容均没有列入本书,如果需要可参阅有关文献。

# 第 1 章

## 土及其基本性质

---

土的物理性质是土的最基本的性质,随着土的组成的不同和三相比例指标的不同,土表现出不同的物理性质,例如,土的干湿、轻重、松密和软硬等。而土的这些物理性质从某种程度上又确定了土的工程性质。例如,松散、湿软地层,土的强度低、压缩性大;反之,强度大、地基承载力高、压缩性小;土颗粒大(无黏性土),地层的渗透性大、地基稳定性好、承载力大;土颗粒细(黏性土),则地层的渗透性小,地基稳定性差;土颗粒大小不均匀(级配好)则土在动荷载作用下,易于压实。研究在荷载作用下土体的变形、强度与稳定问题,首先需要了解土的基本物理力学性质。

因此,本章主要介绍土的形成和组成,定性、定量地描述土的物质组成以及密实性对工程性质的影响。其中,包括土的三相组成分析、土的三相比例指标的定义、黏性土的界限含水率、砂土的密实度、常规土工实验标准及方法、地基土的工程分类方法和土的压实特性等。这些内容是土力学中最基本的部分,是学习土力学所必需的基本知识,是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的基础。

### 1.1 土的生成和种类

土是连续、坚硬的岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒,经过不同的搬运方式,在各种自然环境中形成的沉积物。岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积形成土,土经压密固结、胶结硬化也可能再生成岩石。

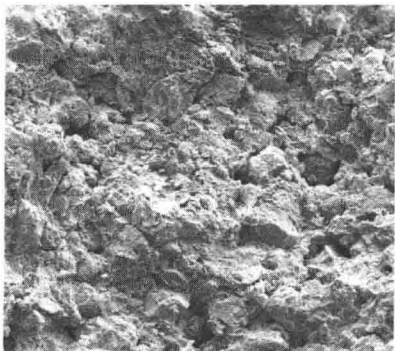
按土颗粒之间有无相互作用力把土分为黏性土和无黏性土。无黏性土是忽略内部粒子间相互作用力的土,如碎石土、砂土、粉土,该类土按密实的程度又可以分为松散土或密实土,密实的砂土具有较高的承载能力和较强的抵抗变形的能力;黏性土土颗粒之间有相互的作用力,这种作用力称为黏聚力(也称内聚力),在内聚力的作用下,土方开挖工程中一定深度范围内的边坡可以保持直立。根据土的应力历史又可分为正常固结黏土和超固结黏土。在一定的荷载作用下,超固结土较正常固结土具有较高的承载能力和较强的抵抗变形的能力。

土的孔隙比、含水率、土的结构和矿物质、前期应力状态和当前应力状态、加载应力路径等都会影响土的性质。

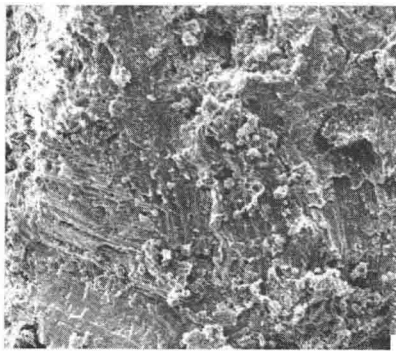
### 1. 按成因分类

岩石按成因分为岩浆岩、变质岩和沉积岩三大类。岩浆岩是岩浆冷凝后形成的岩石,例如花岗岩、流纹岩、玄武岩等。在岩浆活动和地壳运动过程中,原岩在高温、高压及渗入挥发性物质的变质作用下形成的岩石为变质岩,例如石英岩、大理岩、云母片岩等。原岩的风化产物在雨雪水流、山洪急流、河流、冰川或风等外力作用下被剥蚀、搬运到低洼处沉积下来,在漫长的地质年代里,沉积物逐渐加厚,在覆盖压力和含有碳酸钙、氧化铁等胶结物的作用下,松软的沉积物被逐渐压密、脱水、胶结、硬化形成新的岩石,称为沉积岩,例如砾岩、砂岩、泥岩等。未经成岩作用的沉积物,就是“土”。所以说土是岩石风化的产物。

晚更新世  $Q_3$  (距今 0.15 百万年) 及其以前沉积的土, 定为老沉积土; 第四纪全新世  $Q_4$  (距今 0.025 百万年) 中近期沉积的土, 定为新近沉积土。根据地质成因, 土可划分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土、冰积土和风积土等。岩石风化产生的土残留在原地未被搬运的称为残积土, 因重力、风力、火山及冰河等物理作用搬运后堆积形成的土称为运积土。在运积土中, 有因重力搬运的崩积土。由水力搬运的土中, 因堆积场所不同分为河成土、海成土和湖成土。由风力搬运的土叫做风积土, 由火山喷火搬运的土叫做火山性堆积土, 由冰河作用搬运的土叫冰积土。风积土的代表有黄土, 图 1.1a 是  $Q_2$  黄土的电子显微照片, 图中可看到黄土的大孔结构性。图 1.1b 是膨润土的电子显微照片, 膨润土非常密实, 具有吸水膨胀的特性。除此之外, 还有因植物枯死堆积而成的植积土。植积土中植物组织残留的土叫泥炭。



(a)  $Q_2$  黄土 (放大 500 倍)



(b) 膨润土 (放大 500 倍)

图 1.1 土的电子显微照片

### 2. 按粒径分类

土颗粒大小不同, 土的力学特性也会有很大差异。通常, 粒径越大承载力越

高,粒径越小土颗粒间的孔隙比就越大。例如,在三轴实验中,黏性土的初始孔隙比可能是 0.8,砂土的初始孔隙比可能是 0.5,碎石土的初始孔隙比可能是 0.3。孔隙比越大越容易产生沉降和变形,承载力也就越小。图 1.2 是根据土颗粒粒径的大小,按照粒径从小到大的顺序,把土分为细粒、粗粒、巨粒三大类。粒径在 0.075 mm 以下的又分为粉粒和黏粒;0.075~2 mm 粒径的称为砂粒;2~60 mm 粒径的称为砾粒;粒径在 60 mm 以上的叫做石,细分为漂石(块石)和卵石(碎石)。

细粒		粗粒						巨粒		
黏粒	粉粒	砂粒			砾粒			石		
		细砂	中砂	粗砂	细砾	中砾	粗砾	卵石 (碎石)	漂石 (块石)	
		0.005	0.075	0.25	0.5	2	5	20	60	200

图 1.2 粒组划分<sup>[1]</sup>

粒径单位为 mm。

粗粒土的粒径可以用筛分法确定,粉粒与砂的界限值是 75  $\mu\text{m}$ ,这相当于最细筛 200 目筛的筛孔。细粒土的粒径可以用密度计法测定。

### 3. 黏土颗粒与黏土矿物

按粒径大小进行分类时,5  $\mu\text{m}$  以下的土颗粒叫黏粒。黏粒中含有化学活性高的结晶性颗粒的黏土矿物和化学活性不高的石英、长石等非黏土矿物。

岩石的主要化学元素硅 Si 和铝 Al 溶解度低,在岩石中保存下来,形成氧化硅  $\text{SiO}_2$  和三水化铝  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。硅氧晶片的基本单元是 Si—O 四面体,铝氢氧晶片的基本单元是 Al—OH 八面体,黏土矿物晶片示意图如图 1.3 所示。



图 1.3 黏土矿物晶片示意图

由于晶片结合情况不同,形成了具有不同性质的各种黏土矿物,作为代表性的有高岭石、蒙脱石和伊利石。高岭石构造如图 1.4a 所示,硅氧离子层和铝氢氧离子层上下重叠为一个晶胞,几个晶胞上下相连形成一个高岭土黏土颗粒,各层间结合力相当强,层数多,所以形成的黏土颗粒大。蒙脱石的构造如图 1.4c 所示,一个晶胞是由两个硅氧离子中间夹一个铝氢氧离子组成,称为三层结构,这样的晶胞数层相连。由于晶胞的两个面都是氧原子,连接很弱,水分子可以进

入晶胞之间,从而改变了晶胞间的距离,甚至达到单晶胞为止。因此,具有较大的吸水膨胀、失水收缩的性能,所以,蒙脱石是具有很大膨胀性的黏土矿物。伊利石的构造如图 1.4b 所示,在三层结构的晶胞之间结合了数个一价钾离子  $K^+$ ,以补充晶胞中正电荷的不足。所以,伊利石与蒙脱石相比结合力强,结构稳定,其亲水性不如蒙脱石。

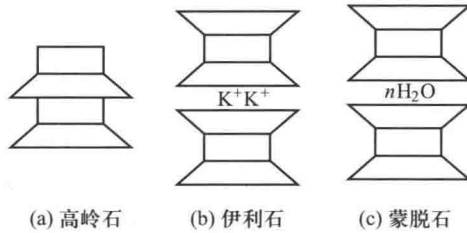


图 1.4 黏土矿物构造单元示意图

黏土矿物是很小的扁平颗粒,颗粒表面具有很强的与水相互作用的能力,表面积越大,这种能力越强。单位体积颗粒的总表面积称为比表面积,粒径越小,比表面积越大,粒径大小造成比表面积数值的巨大变化将导致土性质的突变,土粒大小对土的性质起到重要作用。

#### 4. 土中的水和气

##### (1) 土中的水

在天然状态下土常常是含水的,存在于土中的液态水分结合水和自由水两大类。

结合水是指受电分子引力作用吸附在土粒表面的土中水。矿物颗粒本身带负电荷,在其周围形成电场,水分子是极性分子,氢原子端显正电荷,氧原子端显负电荷,在电场范围内,水中的阳离子被吸引在颗粒四周,呈定向排列,如图 1.5 所示。

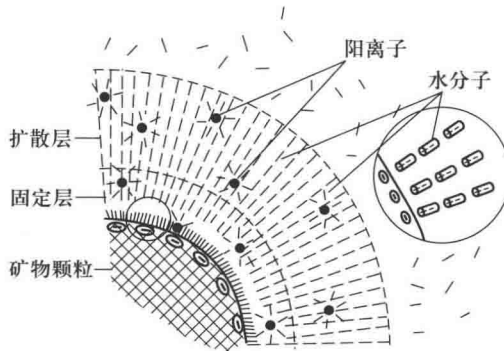


图 1.5 结合水分子定向排列简图



根据水分子受到引力的大小,结合水可以分为强结合水和弱结合水。受颗粒电场作用力吸引,紧紧包围在颗粒表面的水分子称为强结合水,其性质接近固体,不传递静水压力,密度为  $1.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ ,在  $100^\circ\text{C}$  时不蒸发,冰点为  $-78^\circ\text{C}$ ,具有极大的黏滞性、弹性和抗剪强度。弱结合水指紧靠于强结合水外围形成的一层水膜,这层水膜里的水分子和水化离子仍在土颗粒电场作用范围以内,弱结合水也不传递静水压力,弱结合水的存在是黏性土在某一含水率范围内表现出可塑性的原因。弱结合水密度为  $1.0 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ ,冰点温度为  $-20^\circ\text{C}$  至  $-30^\circ\text{C}$ 。

自由水是存在于土粒表面电场影响范围以外的水,与普通水一样传递静水压力,冰点为  $0^\circ\text{C}$ ,有溶解能力。

自由水又分为重力水和毛细水。重力水是存在于地下水位以下透水层中的自由水,在重力或压力差的作用下运动,对土粒有浮力作用。重力水对土中的应力状态、工程中的基坑开挖等有重要影响。

毛细水是受到水与空气交界面表面张力作用的自由水。毛细水存在于地下水位以上的透水层中,毛细水的弯液面和土粒接触处的表面引力反作用于土,称为对土粒产生毛细内聚力。土粒会由于毛细内聚力而挤密,例如稍湿的砂土在手中可以捏成团,这就是毛细内聚力在起作用。干燥的和饱和的砂土粒间没有毛细内聚力,干砂形成的坡脚称为自然休止角。若砂土中含一定的水分,形成的坡脚可以更陡。毛细水的上升对于建筑物地下部分的防潮措施和地基土的冻胀等有重要影响。

## (2) 土中的气

土中的气存在于土的孔隙中未被水充填的部分。在粗颗粒的土中常见与大气联通的孔隙,在荷载的作用下土的孔隙减小,气体排出。在细粒土中常存在与大气隔绝的密闭气泡,使土在外力作用下弹性变形增加,透水性减小。

淤泥和泥炭等有机质土,由于微生物的分解作用,在土中蓄积了某种可燃气体,使土在自重作用下长期得不到压密,形成高压缩性的土层。

## 1.2 土的基本物理量

### 一、土的三相比例指标

土通常是由土颗粒、水、空气组成的三相混合物。地下水位以下的土,孔隙中常常浸水饱和,地下水位以上的土,孔隙中常常含有水和空气。孔隙中充满水的土叫饱和土;水没有充满孔隙,孔隙中含有空气的土叫非饱和土;孔隙中没有