

土力学

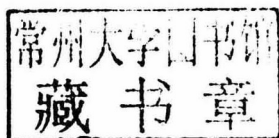
邬 鑫 © 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

土力学

主 编 邬 鑫

副主编 张振国 刘俊芳



内 容 简 介

本书参考全国高校土木工程学科专业指导委员会推荐教材的内容框架,结合小学时土力学课程的教学工作而编写。本书既重视结构框架和基础理论知识的阐述,又注意内容的浅显易懂。

本书除绪论外,主要内容包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性、土中应力分析、土的压缩性、地基变形、土的抗剪强度、土压力、土坡稳定分析、地基承载力。各章后附复习思考题。

本书可以作为土木工程专业以及相近专业的土力学课程教材,也可以作为土木工程研究人员和工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

土力学/邬鑫主编. —北京:北京理工大学出版社, 2019. 4

ISBN 978 - 7 - 5682 - 6890 - 5

I. ①土… II. ①邬… 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 (2019) 第 054141 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北鸿祥信彩印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 8.5

字 数 / 181 千字

版 次 / 2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 陆世立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

土力学是高等学校土木工程专业学生必修的一门课程。本书编者承担着土力学课程的教学工作。过去课堂教学一直以教师讲授为主，故教材编写以老师为主体。随着土木工程专业的“华约”认证，新一轮培养方案的修订，各学科包括土力学的教学学时锐减，以内蒙古工业大学为例，由原来的40学时降为32学时，但教学效果有明确的达标要求：

1. 应用力学知识解决土木工程专业的复杂工程问题；
2. 采用科学方法对土木工程专业的复杂工程问题进行研究。

在这种情况下，如何提高教学效果；如何确保教材以学生为主，更适合学生自学；这成为编写本书着重关注的问题。

本书的特点如下：

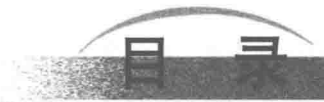
1. 本书的内容与章节编排延续了教育部高等学校教学指导委员会规划教材的架构；
2. 内容浅显易懂，适合初次接触土力学的学生或技术工人使用。

本书在编写过程中借鉴了各个优秀教学团队的精品课程，如清华大学的土力学精品课程，以及其他优秀教材等，在此衷心感谢。

本书由邬鑫、张振国、刘俊芳编写，其中绪论，第1、2、3、4章由邬鑫编写，第5、6、7章由张振国编写，第8、9章由刘俊芳编写。另外，本书编写过程中得到了内蒙古工业大学岩土工程教学团队的鼓励和指导，在此深表感谢！

限于编者水平，本书难免存在不当之处，恳请读者批评指正。

编者



绪论	(1)
第1章 土的物理性质及工程分类	(2)
1.1 土的形成	(2)
1.1.1 残积土	(2)
1.1.2 坡积土	(3)
1.1.3 洪积土	(3)
1.1.4 湖积土	(3)
1.1.5 冲积土	(4)
1.2 土的三相组成	(5)
1.2.1 固体颗粒	(5)
1.2.2 土中水	(9)
1.2.3 土中气	(10)
1.3 土的三相比例指标	(11)
1.3.1 基本试验指标	(11)
1.3.2 换算指标	(12)
1.4 土的结构	(14)
1.4.1 土的结构类型	(14)
1.4.2 灵敏度和触变性	(15)
1.5 土的物理状态表征	(16)
1.5.1 无黏性土的密实度	(16)
1.5.2 黏性土的稠度	(16)
1.6 土的分类标准和地基土的工程分类	(18)

第2章 土的渗透性	(21)
2.1 土的渗透特性	(21)
2.1.1 土体的渗透性	(22)
2.1.2 土体的渗透定律——达西定律	(22)
2.1.3 对达西定律的认识	(23)
2.1.4 渗透系数的测定方法	(25)
2.1.5 对水力坡降的理解	(26)
2.1.6 达西定律的适用范围	(28)
2.2 渗透力与渗透变形	(30)
2.2.1 渗透力的概念	(30)
2.2.2 渗透力的计算	(30)
2.2.3 渗透变形	(30)
2.3 二维渗流及流网	(32)
2.3.1 流网的绘制	(32)
2.3.2 流网的工程应用	(33)
第3章 土中应力分析	(35)
3.1 应力表示方法及分类	(35)
3.1.1 一点应力状态的表示方法	(35)
3.1.2 应力的分类	(38)
3.2 土中应力计算	(41)
3.2.1 自重应力状态下土中应力计算	(41)
3.2.2 附加应力状态下土中应力分析	(43)
3.3 基底压力	(49)
3.4 土的应力应变特性	(52)
3.4.1 土应力应变关系的非线性	(52)
3.4.2 土体变形的弹塑性	(52)
3.4.3 土的剪胀性	(53)
3.4.4 三轴试验	(53)
3.5 饱和土的有效应力原理	(55)
第4章 土的压缩性	(57)
4.1 土的压缩特性	(57)
4.2 侧限压缩试验	(58)
4.3 土的侧限压缩试验指标	(60)
4.3.1 压缩系数 a	(60)

4.3.2	压缩指数 C_c	(60)
4.3.3	压缩模量 E_s	(61)
4.3.4	体积压缩系数 m_v	(61)
4.4	现场载荷试验及变形模量	(62)
4.4.1	现场载荷试验	(62)
4.4.2	变形模量 E_0	(63)
4.5	土的弹性模量	(64)
4.6	土的三种模量的比较	(66)
第5章	地基变形	(68)
5.1	基础最终沉降量的计算	(69)
5.1.1	分层总和法	(69)
5.1.2	应力历史法	(71)
5.1.3	规范法	(75)
5.2	地基变形与时间的关系	(78)
5.2.1	饱和土的渗流固结理论	(78)
5.2.2	一维渗流固结微分方程的推导	(79)
5.2.3	有关沉降—时间的工程问题	(82)
第6章	土的抗剪强度	(84)
6.1	库仑公式	(84)
6.1.1	库仑公式的表达式	(84)
6.1.2	对库仑公式的认识	(85)
6.2	土的抗剪强度及破坏理论	(86)
6.2.1	岩土材料的屈服、强度、破坏	(86)
6.2.2	莫尔—库仑强度理论	(86)
6.3	土的抗剪强度指标的试验方法	(89)
6.3.1	直剪试验	(89)
6.3.2	三轴压缩试验	(90)
6.3.3	十字板剪切试验	(91)
6.4	基于三轴试验的孔隙压力系数	(93)
6.5	抗剪强度指标的选择	(94)
6.5.1	抗剪强度指标的类型	(94)
6.5.2	土的抗剪强度指标的选择原则	(94)
第7章	土压力	(96)
7.1	土压力的类型	(96)

7.2	静止土压力	(98)
7.3	朗肯土压力理论	(99)
7.3.1	朗肯主动土压力	(99)
7.3.2	朗肯被动土压力	(100)
7.3.3	几种特殊情况下的朗肯土压力计算	(101)
7.4	库仑土压力理论	(104)
7.4.1	库仑主动土压力的计算	(104)
7.4.2	库仑被动土压力的计算公式	(105)
7.4.3	几种特殊情况下的库仑土压力计算	(106)
7.5	两种土压力的比较	(108)
第8章	土坡稳定分析	(109)
8.1	无黏性土土坡的稳定性分析	(110)
8.2	黏性土土坡的稳定性分析	(111)
8.2.1	均质土坡的整体稳定分析法	(111)
8.2.2	黏性土土坡稳定分析的瑞典条分法	(112)
8.3	关于土坡稳定分析的几个问题	(114)
8.3.1	挖方边坡与天然边坡	(114)
8.3.2	土的抗剪强度指标值的选用	(114)
8.3.3	土坡的滑动稳定安全系数的选用	(114)
第9章	地基承载力	(115)
9.1	浅基础地基破坏模式	(115)
9.1.1	地基剪切破坏的三种模式	(115)
9.1.2	地基中应力发展三阶段	(117)
9.2	按塑性区开展范围确定地基承载力	(119)
9.2.1	地基塑性变形区边界方程	(119)
9.2.2	临塑载荷与临界载荷	(120)
9.3	按极限载荷确定地基极限承载力	(121)
9.3.1	普朗特极限承载力理论	(121)
9.3.2	太沙基极限承载力理论	(122)
9.4	地基承载力特征值	(123)
9.4.1	按抗剪强度指标确定地基承载力特征值	(123)
9.4.2	按平板载荷试验确定地基承载力特征值	(125)
	参考文献	(127)



土地与人们的生活息息相关，是人类赖以生存的根本，人们的“衣食住行”都离不开土地。土力学正是人类从“住”“行”角度出发研究土体力学性质的一门学科。居住的房屋、奔驰的汽车都以土地为支撑，故从有了人类以来，就有了对土的力学“研究”。

土不同于钢筋，也不同于混凝土，是天然形成的，是岩石在地质大循环的过程中形成的。岩石到土的过程经历了风化、沉积、搬运等地质作用，故形成过程不同，土性截然不同。岩石风化后的固体颗粒堆积在一起，其孔隙中填充水或气体便是土体，故土体不是匀质材料，是由固体颗粒、水、气三种介质组成的三相体，土性复杂即源于此。

土力学是以土为研究对象的一门学科，其作为一门正式的学科，以1925年太沙基出版的《土力学》一书作为标志点。卡尔·太沙基被誉为“土力学之父”，他认为，土力学的诞生，不是个人的力量，而是时代的力量，是时代的需求。工程实践需求是土力学发展的最大动力，故土力学应该是“从实践中来，到实践中去”的一门学科。

土力学作为一门力学课程，由于土性的复杂，其分析方法与其他力学不同。土力学借鉴连续体力学的分析方法，结合工程实践经验和试验，形成了独特的分析方法，故在很多文章中看到土力学是一门“伪力学”的论述，实际上应该无视其真伪，只要能够为工程实践提供良好的服务就是“真”。故土力学的研究或学习应始终秉承一个理念，即为工程实践服务。

本书的主要内容包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性、土中应力分析、土的压缩性、地基变形、土的抗剪强度、土压力、土坡稳定分析、地基承载力，囊括了土力学的三大理论（土的渗透性理论、变形理论和强度理论），以及土力学的工程应用问题（沉降计算问题、地基承载力问题、土压力问题、土坡稳定问题）和土力学的基础知识。

土的物理性质及工程分类

1.1 土的形成

在土木工程中，土是指岩石风化后形成的碎散的、覆盖于地表的、由矿物颗粒和岩石碎屑组成的堆积体。地球表面的岩石在大气中经受长期的风化作用而破碎后，形成形状不同、大小不一的颗粒，这些颗粒受各种自然力的作用，在各种不同的自然环境下堆积下来，就形成了通常所说的土。堆积下来的土，在很长的地质年代中发生复杂的物理化学变化，逐渐压密、岩化，最终又形成岩石，就是沉积岩。因此，在自然界中，岩石会不断风化破碎形成土，而土也会不断压密、岩化变成岩石。这一循环过程重复地进行着。工程上遇到的大多数土都是在第四纪地质历史时期内形成的。第四纪地质年代的土又可分为更新世土和全新世土两类。其中，第四纪全新世中晚期沉积的土，即在人类文化期以来所沉积的土，称为新近代沉积土，一般为欠固结土，强度较低。

按形成土体的地质作用力和沉积条件（沉积环境），土体可划分为若干类型，如残积土、坡积土、洪积土、冲积土等。不同的成因决定了土体的性质成分及其工程地质特征。

1.1.1 残积土

残积土是由基岩风化而成，未经搬运留于原地的土体。它处于岩石风化壳的上部（风化壳中的剧风化带）。残积土一般形成剥蚀平原。

影响残积土工程地质特征的因素主要是气候条件和母岩的岩性。

1. 气候因素

气候影响着风化作用类型，从而使得不同气候条件不同地区的残积土具有特定的粒度成分、矿物成分、化学成分。

(1) 干旱地区：以物理风化为主，只能使岩石破碎成粗碎屑物和砂砾，缺乏黏性土矿物，具有砾石类土和工程地质特征。

(2) 半干旱地区：在物理风化的基础上发生化学变化，使原生的硅酸盐矿物变成黏性土矿物；但由于雨量稀少，蒸发量大，故土中常含有较多的可溶盐类，如碳酸钙、硫酸钙等。

(3) 潮湿地区：①在潮湿而温暖、排水条件良好的地区，由于有机质迅速腐烂，分解出 CO_2 ，有利于高岭石的形成；②在潮湿温暖而排水条件差的地区，则往往形成蒙脱石。

可见，从干旱、半干旱地区至潮湿地区，土的颗粒组成由粗变细；土的类型从砾石类土过渡到砂类土、黏性土。

2. 母岩因素

母岩的岩性影响着残积土的粒度成分和矿物成分；酸性火成岩，含较多的黏性土矿物，其岩性为粉质黏性土或黏性土；中性或基性火成岩，易风化成粉质黏性土；沉积岩大多是松软土经成岩作用后形成的，风化后往往恢复原有松软土的特点，如黏性土岩形成黏性土、细砂岩形成细砂土等。

残积物的厚度在垂直方向和水平方向变化较大，这主要与沉积环境、残积条件有关（山丘顶部因侵蚀而厚度较小；山谷低洼处则厚度较大）。残积物一般透水性强，以致残积土中一般无地下水。

1.1.2 坡积土

坡积土是残积物经雨水或融化了的雪水的片流搬运作用，顺坡移动堆积而成的，所以其物质成分与斜坡上的残积物一致。坡积土体与残积土的工程地质特征很相似。

(1) 岩性成分多种多样。

(2) 一般见不到层理。

(3) 地下水一般属于潜水，有时形成上层滞水。

(4) 坡积土体的厚度变化大，由几厘米至一二十米，在斜坡较陡处薄，在坡脚地段厚。一般斜坡的坡角越大，坡脚坡积物的范围越大。

1.1.3 洪积土

洪积土是暂时性、周期性地面水流（如山洪）带来的碎屑物质，在山沟的出口地方堆积而成。洪积土体多发育在干旱、半干旱地区，如我国的华北、西北地区。其特征为：距山口越近颗粒越粗，多为块石、碎石、砾石和粗砂，分选差，磨圆度低，强度高，压缩性小（但孔隙大，透水性强）；距山口越远颗粒越细，分选好，磨圆度高，强度低，压缩性高。

此外，洪积土体具有比较明显的层理（交替层理、夹层、透镜体等）；洪积土体中地下水一般属于潜水。

1.1.4 湖积土

湖积土在内陆分布广泛，一般分为淡水湖积土和咸水湖积土。淡水湖积土分为湖岸土和

湖心土两种。湖岸土多为砾石土、砂土或粉质砂土；湖心土主要为静水沉积物，成分复杂，以淤泥、黏性土为主，可见水平层理。咸水湖积土以石膏、岩盐、芒硝及 RCO_3 （R 为金属）岩类为主，有时以淤泥为主。总之，湖积土具有以下工程地质特征：

- (1) 分布面积有限，且厚度不大。
- (2) 具有独特的产状条件。
- (3) 黏性土类湖积土常含有机质、各种盐类及其他混合物。
- (4) 具有层理性和各向异性。

1.1.5 冲积土

冲积土是河流的流水作用将碎屑物质搬运堆积在它侵蚀成的河谷内而形成的。

冲积土主要发育在河谷内以及山区外的冲积平原中，一般可分为三个相，即河床相、河漫滩相、牛轭湖相。

(1) 河床相冲积土主要分布在河床地带，冲积土一般为砂土及砾石类土，有时也夹有黏性土透镜体，在垂直剖面上土粒由下到上，由粗到细，成分较复杂，但磨圆度较高。

山区河床冲积土厚度不大，一般为 10 m 左右；而平原地区河床冲积土则厚度很大，一般超过几十米，其沉积物也较细。

河床相土体是良好的天然地基。

(2) 河漫滩相冲积土是由洪水期河水将细粒悬浮物质带到河漫滩上沉积而成的。其一般为细砂土或黏性土，覆盖于河床相冲积土之上，常为上下两层结构，下层为粗颗粒土，上层为泛滥的细颗粒土。

(3) 牛轭湖相冲积土是在废河道形成的牛轭湖中沉积下来的松软土，由含有大量有机质的粉质黏性土、粉质砂土、细砂土组成，没有层理。

河口冲积土由河流携带的悬浮物质，如粉砂、黏粒和胶体物质在河口沉积的一套淤泥质黏性土、粉质黏性土或淤泥组成。河口冲积长期发育形成河口三角洲，往往作为港口建筑物的地基。

另外，土还有很多类型，如冰川土、崩积土、风积土、海洋沉积土、火山土等。土的形成过程决定了它具有特殊的物理力学性质。深刻理解土的形成过程，有利于掌握土力学性质的本质。

1.2 土的三相组成

土是由固相、液相、气相组成的三相体。固相物质包括多种矿物成分组成的土骨架，骨架间的空隙由液相和气相填满，这些空隙是相互连通的，形成多孔介质。液相主要是水（溶解有少量的可溶盐类）。气相主要是空气、水蒸气，有时还有沼气等。土中三相物质的含量比例不同，土的形态和性状也就不同，自然界的土中固相物质占土体积的一半以上。不同成因类型的土，即使达到相同的三相比例关系，但由于其颗粒大小、形状、矿物成分类型及结构构造不同，其性质也会相去甚远。土与岩石的主要区别在于固体颗粒间的联结很弱，因此，其强度较其他固体材料要低得多，且极易受外界环境（湿度、温度）的影响。由于土的成因类型、形成历史不同，其性质及性状极其复杂多变。为了对土性的复杂的工程特性做到基本了解，首先要对其组成中的三相进行分析。

1.2.1 固体颗粒

固体颗粒构成土骨架，它对土的物理力学性质起决定性的作用。研究固体颗粒，就要分析粒径的大小及不同尺寸颗粒在土中所占的百分比，即土的粒径级配。另外，还要研究固体颗粒的矿物成分以及颗粒的形状。这三者之间是密切相关的。例如，粗颗粒的成分都是原生矿物，形状多呈单粒状；而颗粒很细的土，其成分多是次生矿物，形状多为针片状。

1. 固体颗粒大小分析——粒径级配

由于颗粒大小不同，土可以具有很不相同的性质。例如，粗颗粒的砾石，具有很强的透水性，完全没有黏性和可塑性；而细颗粒的黏性土透水性很小，黏性和可塑性较大。颗粒的大小通常以粒径表示。由于土颗粒形状各异，颗粒粒径在筛分法中用通过的最小筛孔的孔径表示；在水分法中用在水中具有相同下沉速度的当量球体的直径表示。工程上按粒径大小分组，称为粒组，即某一级粒径的变化范围，如图 1.1 所示。以砾石和砂粒为主要粒径的土，称为无黏性土，以粉粒、黏粒和胶粒为主要粒径的土，称为黏性土。

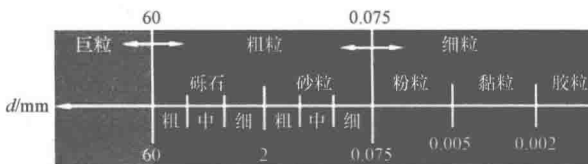


图 1.1 粒组

工程中使用的粒径级配分析方法有筛分法和水分法两种。

筛分法适用于土中粒径大于 0.075 mm 的颗粒。它是利用一套孔径大小不同的筛子，将事先称过质量的烘干土样过筛，分别称留在各筛上的土重，然后计算相应的百分数。

水分法用于分析土中粒径小于 0.075 mm 的颗粒。根据斯托克斯 (Stokes) 定理, 球状的颗粒在水中的下沉速度与颗粒直径的平方成正比。因此, 可以利用粗颗粒下沉速度快、细颗粒下沉速度慢的原理, 按下沉速度进行颗粒粗细分组。基于这种原理, 实验室常用密度计进行颗粒分析, 称为密度计法。

筛分法和水分法的试验结果可以处理为如图 1.2 所示的粒径级配累积曲线。常用半对数坐标系画图, 其中横坐标为粒径, 纵坐标为小于某粒径的颗粒含量占总质量的百分比。粒径级配曲线的任意两点之间连线的斜率代表了某粒径范围的颗粒含量, 曲线陡, 相应的粒组含量多, 曲线缓, 相应的粒组含量少, 如果曲线有平台, 则相应粒组缺乏。为了进一步对土体粒径大小进行分析, 定义小于某粒径的颗粒含量占总质量的 60% 时对应的粒径 d_{60} 为控制粒径; 同理定义 d_{50} 为平均粒径; d_{10} 、 d_{30} 为有效粒径。土样的不均匀程度用不均匀系数 C_u 来表示, $C_u = d_{60}/d_{10}$; $C_u \geq 5$, 称为不均匀土, 反之称为均匀土。为了反映粒径的连续性, 定义曲率系数 C_c , $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}}$; 当 $C_c = 1 \sim 3$ 时, 为连续级配; 当 $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 时, 为不连续级配。不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 用于判定土的级配优劣: 当 $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 时, 为级配良好的土; 当 $C_u < 5$ 或 $C_c > 3$ 或 $C_c < 1$ 时, 为级配不良的土。

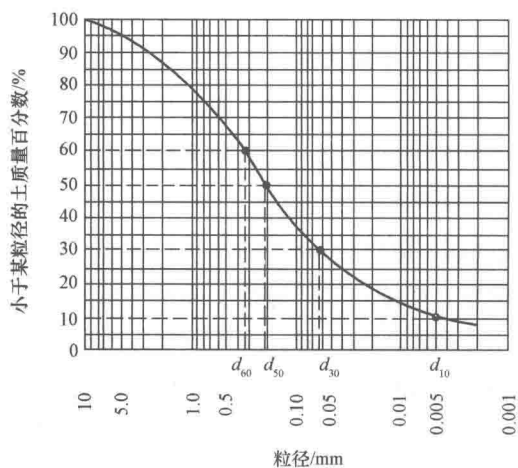


图 1.2 粒径级配累积曲线

2. 土体颗粒成分分析

土中固体颗粒成分如图 1.3 所示, 绝大部分是矿物质, 另外或多或少有些有机质。

原生矿物是由岩石经过物理风化生成的, 粗的土颗粒通常是由一种或多种原生矿物所组成的岩粒或岩屑, 即使很细的岩粉仍然是原生矿物。

次生矿物是由原生矿物经化学风化后形成的新的矿物。土中最主要的次生矿物是黏性土矿物。黏性土矿物具有不同于原生矿物的复合层状的硅酸盐矿物, 它对黏性土的工程性质影响很大。次生矿物还有倍半氧化物和次生二氧化硅。它们除以晶体形式存在以外, 还常以凝

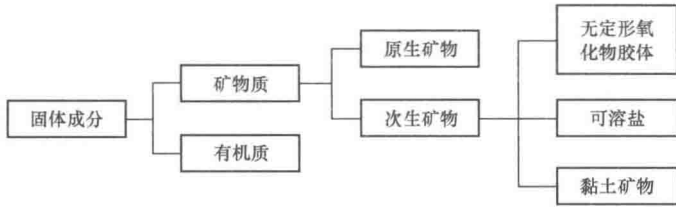


图 1.3 固体颗粒成分

胶的形式存在于土粒之间，增加了土体的抗剪强度。

可溶盐是第三种次生矿物，它们包括 CaCO_3 、 NaCl 、 MgCO_3 等，可能以固体形式存在，也可能溶解在溶液中，增加颗粒间的联结，增强土的抗剪强度。

黏性土矿物是一种复合的铝-硅盐晶体，颗粒呈片状，是由硅片和铝片构成的晶包组叠而成。硅片的基本单元是硅氧（ $\text{Si}-\text{O}$ ）四面体，如图 1.4 所示，铝片的基本单元是铝氢氧（ $\text{Al}-\text{OH}$ ）八面体，如图 1.5 所示。硅片和铝片构成两种基本类型的晶胞，即由一层硅片和一层铝片构成的二层型晶胞和由两层硅片中间夹一层铝片构成的三层型晶胞。这两类晶胞的不同叠置形式形成了不同的黏性土矿物，可分成高岭石、蒙脱石和伊利石三种类型。

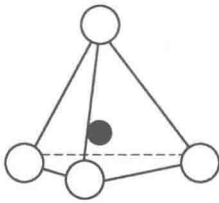


图 1.4 硅氧四面体

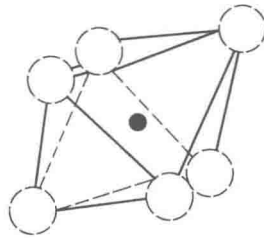


图 1.5 铝氢氧八面体

高岭石是两层结构，如图 1.6 所示。由一层硅氧四面体层和一层铝氢氧八面体层通过公共的氧原子连接成一个晶胞，其四面体层可以用一个等腰梯形表示。晶胞内的电荷是平衡的，晶胞之间由氧原子和氢氧根连接，氢氧根中的氢与相邻晶胞中的氧形成氢键，起着连接作用，故性质是较稳定的，水分子不易进入晶胞间而发生膨胀。典型的高岭石有 70~100 层，属三斜及单斜晶体，密度为 $2.58 \sim 2.61 \text{ g/cm}^3$ ，它的水稳性好，可塑性低，压缩性低，亲水性差。

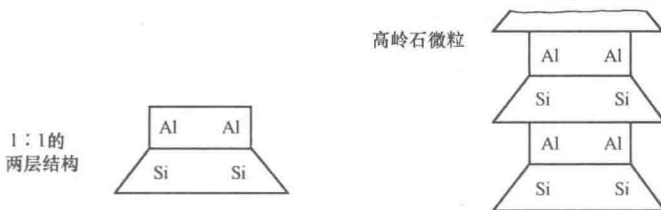


图 1.6 高岭石结构

蒙脱石组属三层结构，如图 1.7 所示。它由两层硅氧四面体层夹一层铝氢氧八面体层构成。作为单个黏性土片的蒙脱石只有几层，其特点是两层之间以氧原子与氧原子相连，靠分子间的相互作用力（范德华力）相互连接，连接力很弱，水分子容易进入晶胞之间，使晶胞的距离增大。因此，蒙脱石的晶格是活动的，吸水后会发生膨胀，体积可增大数倍。脱水后则可收缩。膨胀土就是黏粒中含有一定数量的这类矿物的缘故。一般含量在 5% 以上，就会有明显的膨胀性。

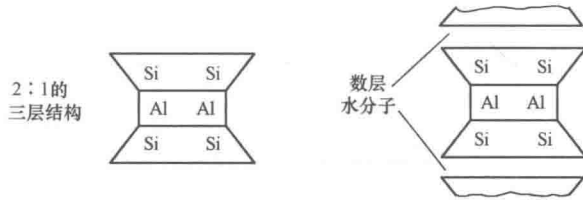


图 1.7 蒙脱石结构

伊利石是云母类黏性土矿物的统称，也为三层结构，如图 1.8 所示。与蒙脱石的不同之处是类质同象置换主要发生在硅氧四面体中，约有 20% 的硅被铝、铁置换，由此而产生的不平衡电荷由进入晶胞之间的钾、钠离子（主要是 K^+ ）来平衡，钾键起到晶胞与晶胞之间的连接作用，连接力较强。因此，水分子就不易进入，遇水膨胀、脱水收缩的能力低于蒙脱石，单片厚为十几层，其力学性质介于高岭石与蒙脱石之间。

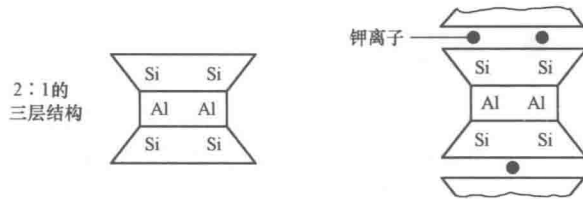


图 1.8 伊利石结构

研究表明，片状黏性土颗粒表面常带有电荷，净电荷通常为负电荷，此即黏性土矿物的带电性质。1809 年，莫斯科大学列伊斯教授完成了一项很有趣的试验——电渗电泳试验。试验如图 1.9 和图 1.10 所示。他在潮湿的黏性土膏中插入两根玻璃管，管内撒上一层净砂，注入清水至同样高度，再放入电极通以直流电，经过一段时间后出现了如图 1.10 所示的现象：正极玻璃管内的水慢慢浑浊起来，同时水位逐渐下降，说明极细小的黏粒本身带有一定量的负电荷，在电场作用下向正极移动，这种现象称为电泳；负极的玻璃管内水仍然是清澈透明的，但水位逐渐升高，说明水分子在电场作用下向负极移动，由于水中含有一定量的阳离子（ K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等），故水的移动实际上是水分子随这些水化了的阳离子一起移动，这种现象称为电渗。电泳、电渗是同时发生的，统称为电动现象。利用电动现象可以加固软黏性土地基，使软土的含水量降低，强度提高，在国内已有实际应用的例子。但因

耗电量很大, 费用较高, 一般只用于已成建筑物的加固。

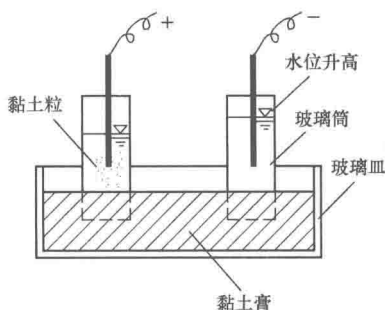


图 1.9 列伊斯电渗电泳试验装置

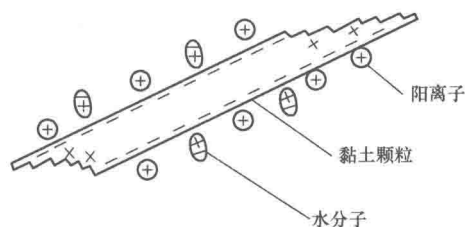


图 1.10 列伊斯电渗电泳试验现象

3. 固体颗粒形状和比表面积

(1) 颗粒形状。原生矿物: 一般颗粒较粗, 多呈粒状; 圆状、浑圆状、棱角状等。次生矿物: 颗粒较细, 多呈针状、片状、扁平状。

(2) 比表面积。单位质量土颗粒所拥有的总表面积。对于黏性土, 其大小直接反映土颗粒与四周介质, 特别是水相互作用的强烈程度, 是代表黏性土特征的一个很重要的指标。高岭石的比表面积为 $10 \sim 20 \text{ m}^2/\text{g}$, 伊利石为 $80 \sim 100 \text{ m}^2/\text{g}$, 蒙脱石为 $800 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

1.2.2 土中水

组成土的第二种主要成分是土中水。土中水除了一部分以结晶水的形式存在于固体颗粒内部的矿物中以外, 可以分成结合水和自由水两大类。

(1) 结合水受颗粒表面电场作用力吸引而包围在颗粒四周, 不传递静水压力, 不能任意流动的水。结合水根据土粒对其吸引力的强弱又分为强结合水和弱结合水。

①强结合水。排列致密, 密度 $> 1 \text{ g}/\text{cm}^3$; 冰点处于零下几十摄氏度; 完全不能移动, 具有固体的特性; 温度略高于 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 时可蒸发。

②弱结合水。受电场引力作用, 为黏滞水膜, 在外力作用下可以移动, 不因重力而流动, 有黏滞性。

(2) 自由水是不受颗粒电场引力作用的孔隙水。自由水分为毛细水和重力水。毛细水