

中等专业学校教材

土质及土力学

四川省水利电力学校主编

水利出版社

97620

TU43
6291

中等专业学校教材

土 质 及 土 力 学

四川省水利电力学校主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

水利出版社

内 容 提 要

本书为水利电力类中等专业学校《水文地质工程地质》专业教材。

全书共十一章。内容包括两个部分：土质学部分，着重叙述土的组成、物理力学性质、不同成因类型土和特殊性土的工程地质特性、土性质的人工改良以及土工试验主要项目的基本原理；土力学部分，主要讲述土力学的基本原理及地基应力、地基沉陷、地基强度和稳定性、土坡稳定性及土压力的计算和分析。

全书文字通俗易懂，并有例题。每章还附有思考题或习题。

本书也可供从事水文地质、工程地质的技术人员参考。

中等专业学校教材

土 质 及 土 力 学

四川省水利电力学校主编

*

水利出版社出版发行

(北京德胜门外六铺炕)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 16印张 361千字

1980年6月第一版 1980年6月北京第一次印刷

印数 0001—6130册 每册 1.70元

书号 15047·4021

前 言

本书是根据1978年水利电力部制订的《中等专业学校教材编审规划》组织编写的。

在编写过程中，力求运用辩证唯物主义观点，贯彻少而精和理论联系实际的原则。着重阐述土质及土力学的基本概念、基本原理和方法；注意培养基本技能和解决问题的能力；适当反映本学科的新成就和发展方向。

为了照顾水利类和电力类工程地质专业的需要，本书有的章节内容偏多(如第五章)，各校可根据专业特点和实际情况，进行取舍，以便集中精力掌握基本要求。

本书第一、二、三、四、五及十一章，由湖南省水利学校吴永全同志编写；绪论、第六、七、八、九及十章，由四川省水利电力学校黄道宣同志编写。由黄道宣同志担任主编。

本书由湖北省电力学校易奠平、代诗森两同志主审。江西省水利水电学校石君英同志也参加了审稿。参加审稿的还有武汉电力设计院、水电部成都勘测设计院、长江流域规划办公室勘测处和武汉水利电力学院等单位 and 院校，对本书的编写内容提出了宝贵意见、提供了不少资料，在此一并表示谢意。

对于本书存在的缺点和错误，诚恳地希望读者指正。

编 者

一九七九年六月

目 录

前 言

绪 论 1

第一节 《土质及土力学》及其在水利电力工程建设中的作用与任务 1

第二节 《土质及土力学》的内容和研究方法 2

第三节 《土质及土力学》在我国的发展简况 3

第一章 土的组成及结构构造 4

第一节 土的基本组成 4

第二节 土的粒度成份 7

第三节 土的矿物成份 13

第四节 粘土的胶体特性 19

第五节 土中的水 31

第六节 土中的气体 33

第七节 土的结构和构造 34

第二章 土的物理性质 40

第一节 土的重量及其指标 40

第二节 土的含水量及其指标 41

第三节 土的孔隙性及其指标 42

第四节 各种指标之间的关系 45

第三章 土的水理性质 49

第一节 粘性土的状态及其指标 49

第二节 粘性土的膨胀、收缩及崩解性 52

第三节 土的毛细性 54

第四节 土的透水性 57

第四章 土的力学性质 60

第一节 土的压缩性 60

第二节 土的抗剪性 67

第三节 动荷载作用下土的压密性 73

第五章 不同成因类型土和特殊性土的工程地质性质 79

第一节 残积土 79

第二节 坡积土 80

第三节 崩积土 81

第四节 洪积土 81

第五节 冲积土 82

第六节 湖积土 84

第七节 冰碛土 85

第八节 黄土 86

第九节 红粘土 95

第十节 膨胀土	101
第十一节 软土	114
第十二节 人工填土	123
第六章 土内应力的分布	131
第一节 地基基础的概念	131
第二节 土内应力的一般概念	133
第三节 集中力作用下地基中的附加应力	134
第四节 基础底面应力分布	138
第五节 矩形均布荷载作用下地基中附加应力	140
第六节 圆形均布荷载作用下地基中附加应力	144
第七节 用部分总和法求地基中附加应力	145
第八节 条形荷载下地基中的附加应力	147
第九节 土的自重应力	152
第七章 地基沉降量的计算	155
第一节 地基土的变形和沉降的一般概念	155
第二节 地基沉降量计算	156
第三节 沉降与时间的关系	170
第四节 容许沉降量与容许沉降差	174
第八章 地基强度及稳定性	177
第一节 地基强度及稳定性的一般概念	177
第二节 土的极限平衡理论	178
第三节 按塑性区开展深度确定容许承载力	180
第四节 按极限荷载确定地基容许承载力	183
第五节 按地基规范确定地基容许承载力	187
第六节 测试法确定地基容许承载力	190
第九章 土坡稳定分析	198
第一节 土坡稳定的一般概念	198
第二节 分条法土坡稳定性的计算	199
第三节 水平力法土坡稳定性的计算	204
第四节 稳定斜坡法土坡稳定性计算	208
第五节 当有渗流通过斜坡时土坡稳定性计算	210
第六节 土坡稳定分析的图解法	214
第十章 土压力	218
第一节 土压力的一般概念	218
第二节 朗肯土压力理论	221
第三节 库仑土压力理论	224
第四节 某些具体工程条件下土压力的计算	228
第五节 土压力图解法	241
第十一章 土性质人工改良的基本原理	245
第一节 概述	245
第二节 提高土强度的方法	246
第三节 降低土透水性的方法	247
第四节 提高土强度并降低其透水性的方法	248

绪 论

第一节 《土质及土力学》及其在水利电力工程建设中的作用与任务

土质及土力学是工程地质学的重要组成部分，是工程地质学的基础，它是在工程地质实践中发展起来的一门科学。

工程地质学是研究与工程建筑有关的地质问题的科学。任何工程建筑总是与组成地壳的土和岩石（一般简称为土石）密切相关的。为了保证工程建筑物的经济、安全与合用，除了研究建筑物本身外，还必须研究土石的地质条件及其与工程建筑物的相互关系——**土石的工程地质特征**。土质及土力学就是以组成地壳的土石作为其研究对象的。

具体言之：**土质学**是从工程地质的观点，来研究土石的工程地质特征、这些特征的形成以及在自然和人为因素影响下，这些特征变化规律的科学。**土力学**是应用力学知识和土工试验技术，来研究土的强度和变形及其规律性的科学。所以，土质及土力学是工程地质学的基础，正如矿物学和岩石学是地质学的基础一样。

在水利电力工程建设中，很多建筑物是在土上兴建的，如堤坝、水闸、渡槽和厂房等；有的建筑物是在土中建造的，如隧道、涵洞和地下室等；不少建筑物甚至本身就是用土建成的，如土坝、土堤和土渠等。因此，对土的工程地质问题如重视不够，将会产生严重的后果。这方面的教训在世界各国是不乏先例的。如加拿大特朗斯康大谷仓的地基破坏，就是一个著名的例子。谷仓高31米，平面尺寸为 60×23 米²，钢筋混凝土结构。由于设计时不了解地基下部有软弱土层，致使该谷仓建成后首次装料时，就因地基土失去稳定而发生严重倾斜，谷仓一侧陷入土中8.8米，仓身倾斜达 28° ，以致完全不能使用。由于结构本身尚完好，事后采取地基加固措施，并将仓身扶正，才恢复使用。又如巴西十一层大厦，大厦平面尺寸为 29×12 米²，支承在99根21米长的钢筋混凝土桩上，1955年开始施工，1958年初建成，尚未使用即倒塌。在施工过程中发现地基土有明显变形，但误认为是正常情况，未加注意。1958年1月大厦后面的明显下沉才引起了注意，准备进行加固，但为时已晚。1月30日晨大厦的沉降速度已达每小时4毫米，晚间8点钟大厦在20秒钟内倒塌，平躺地上。事后查明那里的地基是沼泽土，邻近建筑物用的是26米长的桩，可以看出，大厦倒塌的主要原因，是桩长不够，未能打到较好土层，仍然悬浮在软弱的粘土和泥炭层中，由于基土的承载力不足而产生这种严重后果。另一个例子是挪威的一个修筑在软粘土上的直径25米的油罐，当油罐建成后试水时，在35小时内，水压达到11吨/米²，由于荷载增加太快，加荷后2小时，地基土发生急剧挤出，卸荷后测得油罐的沉陷达到0.5米，油罐旁的地面隆起高度达0.4米。事后查明，在地基土挤出的一侧有局部的更为软弱的粘土层，由于其强度不够，引起了地基的破坏。解放后，我国兴建了大量的水利电力工程，其中也有极少数工程，由于对土的复杂的工程地质问题缺乏周密的勘察研究，设计方案没

有充分的地质依据，施工中遇到很大的困难，甚至造成工程事故，浪费大量的人力、物力，延误工期、遗留后患，工程效益长期不能发挥。应从国内外这些实例中吸取经验教训，认真加强土的工程地质勘察研究工作。

由上所述，可见在水利电力工程建设中，工程地质工作是重要的一环。而作为工程地质学主要组成部分的土质及土力学，其任务当然也应属于工程地质学的任务范围，只是更侧重于调查研究有关土的工程地质条件方面。如地形地貌、地质构造、水文地质条件、土层性质、土体的强度和变形及稳定性、天然建筑土料等。为此，可将土质及土力学的具体任务归纳如下。

(1) 对建筑区内的土石进行工程地质分类，查明不同类型土的分布情况。

(2) 测定建筑区内各种类型土的性质指标，并预测在建筑物作用下，这些反映土性质的指标可能发生的变化。

(3) 评价(定性分析与定量计算)土的性质及其变化对工程建筑物的影响。

(4) 确定建筑物的施工方法。

(5) 提出改善土不良工程性质的方法。

第二节 《土质及土力学》的内容和研究方法

本课程的内容，有如下几个主要方面。

1. 土的组成及性质 介绍有关土的一些基本概念、基本知识和基本理论，以及土工试验主要项目的基本原理。如土的三相组成、土的物质组成、土的物理性质、土的水理性质、土的力学性质、双电层、水膜及胶体理论等。从而树立起对土的基本认识，为以后章节的学习打下基础。

2. 各种类型土的工程地质特征 了解主要的和常见的不同成因类型土及特殊性土的工程地质性质。

3. 土内应力分布和地基沉降计算 介绍一般的建筑物荷载作用下，地基中应力的分布和沉降量计算。

4. 土的强度和稳定性 介绍有关地基土强度的理论和确定地基容许承载力的主要方法以及土坡稳定性的分析。

5. 土压力 研究有关土压力的基本理论，如朗肯理论、库仑理论，并介绍一些具体情况下土压力的计算。

6. 土性质的人工改良 介绍一些常用的土不良工程性质的人工改善的基本原理。

由于土质及土力学是工程地质学的组成部分，其所研究的对象土石，又是地质历史的产物，具有相当的复杂性。因此，在学习和研究本学科时，不能只用单一的方法，否则，不仅不能得到好的效果，反而会得出一些片面的、错误的结论，给工作造成损失。必须运用综合的方法，最主要的是地质方法、实验方法和理论计算方法。

首先是地质方法，即在研究土石时，应从自然历史的角度进行分析。如处于某一定地质条件下的土石，有其一定的工程地质特性，但由于工程的兴建或自然因素的改变，土石

的工程地质性质也将随之而发生变化。所以为了学好和研究本课程，始终不能脱离地质的眼光。

土质学是一门实践性较强的课程，要学好它不仅要掌握课程的基本概念和基本理论，而且必须掌握好实验技术，这也是土质学的内容之一。通过实验将有助于深透地理解和验证基本概念和基本理论。所以实验工作是学习和研究土质学的一个重要方法。土力学是在土质学的基础上，对土的工程地质性质进行定量评价，即进行定量计算。因此，它是计算性较强的科学。但必须强调指出，在进行土力学计算研究时，绝对不能忽视对土的地质特性的研究和单纯片面地强调数学上的计算。对于各计算公式的适用条件必须十分熟悉，反对不考虑具体地质条件而死套硬套公式。

第三节 《土质及土力学》在我国的发展简况

我国劳动人民在工程建筑中使用土是有着悠久的历史。如战国及秦代的长城，明清的故宫及天坛，都是雄伟壮丽的建筑。由于这些建筑物具有牢固的基础，才能保留到今天。又如，有名的大运河及联络湘、桂二水的灵渠均开凿于纪元前。再如，五代时修筑的杭州湾海塘工程，高大的石工岸壁建造在软土地基上。所有这些工程中的地基问题均比较复杂，可见我国古代劳动人民在工程实践中对土的认识已积累了相当的经验。

但在解放前的旧中国，由于帝国主义和反动派的统治，几乎没有什么工程建设。就以水电工程来说，只有为数极少的水库坝址曾作过一些地质调查，工程地质几乎是个空白点，至于土质及土力学就更谈不到。解放前，全国只有几个规模很小的土工试验室；几乎没有能够满足工程要求的勘探设备；高等院校里开设土力学课程的寥寥无几，土质学更未发展成一门独立的科学。

新中国成立后，为适应我国社会主义建设迅速发展的需要，在水利电力工程、铁道公路工程、工业与民用建筑以及国防工程等部门，都积极开展了工程地质勘察工作。其中，遇到了不少与土质及土力学有关的问题，迫切需要解决，这就促使了这门学科的不断 发展。

解放以来，我国修建了大量的土坝、水闸、电站、码头及其他大型工程。这些工程不少是修建在土基上的，因而积累了许多软弱地基上的建筑经验。例如，对土的变形、强度和稳定性等方面的研究，对黄土、红粘土和膨胀土性质的研究，对软粘土流变性质和固结理论的研究等等，都取得一些有价值的成果。对软土地基的砂井预压加固，砂垫层和电化加固以及松砂地基的爆炸震密方法等的应用，也积累了一定的经验。

现在全国各地不但有专门的土工研究机构，有关的高等院校也广泛开展着土质及土力学的工作，解决了生产实际中提出的一些重大问题，取得了一定的成就。

近几年来，为适应四个现代化发展的需要，不少有关部门积极地开展了土质及土力学研究工作；陆续编制出了这方面的规程规范和一些技术规定。随着社会主义建设事业的发展，在工程实践中必然会遇到许多复杂的有关本学科的疑难问题。因此，我们应该不断地调查研究，总结工程实践中的经验，积极开展科学研究，使本学科的水平不断地得到提高。

第一章 土的组成及结构构造

第一节 土的基本组成

（一）土的三相组成

岩石经过风化、剥蚀、搬运、沉积等过程后，所形成的各种疏松沉积物，在建筑工程上称之为土。广义的概念是将岩石也包括在内。土是由固体、液体和气体三相或两个相组成的。固态相的矿物颗粒是构成土的必要部分，叫做**土粒或骨架**。土粒间的孔隙中，有时全部充满着水，形成饱水土，性质柔软。有时全部充满着空气，形成干土，干土有的坚硬有的松散。饱水土和干土都由两相组成。孔隙中如有液态的水，又有气态的空气，则成为湿土，湿土是由三部分组成的，其物理技术性质界于饱水土和干土之间，在自然界中，湿土是最常见的。

土的三个组成部分和它们之间的比例关系决定了土的工程地质性质，同时，这些组成部分随着自然条件的改变是在经常地变化的。例如温度的升高使土中的一部分水被蒸发，相对地增加了土中的空气，研究土就必须研究土的这三个组成部分以及它们之间的关系。

（二）土中固相和液相之间的相互作用

把土颗粒放到水中，它的表面就会较牢固地吸附一层水，叫做**矿物表面结合水**。土质学中所说的结合水一般就是指矿物表面结合水。

土粒表面为什么会牢固地吸附一层水呢？因为矿物是由很多具有电荷的原子或离子按一定的形式排列成的。这种排列形式叫做**结晶格架或原子格架**。每一个带正（或负）电荷的原子或离子四周必有带负（或正）电荷的原子或离子包围着，所以在矿物内部总地看来，正负电荷是互相中和的，也就是说这些原子或离子是没有游离价的，如图1-1所示。但是在土粒的表面，这些原子或离子的电荷是没有被中和的，也就是说这些原子或离子是具有游离价的，因而就有从水中吸引与它们电荷相反的离子的能力，使水中的这些离子紧紧地靠拢它们。我们知道水中是存在着离子的，就是在最纯的蒸馏水中，也必然存在着 H^+ 和 OH^- 离子。如果水不纯，含有其它盐类如 $NaCl$ ，那么水中除 H^+ 和 OH^- 等离子以外还存在着 Na^+ ， Cl^- 等离子。这些离子都是可以被土粒表面的具有游离价的原子或离子所吸引的。由于土粒表面具有不同的电荷，有正的或负的。一般说来，这些异号的表面电荷是不等的，因而总地看来土粒表面不是带正电荷就是带负电荷，所以还是要吸引水中的离子的。

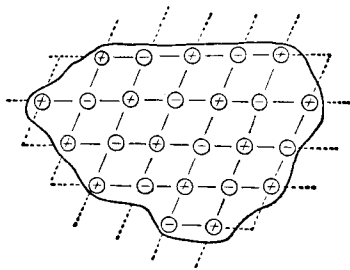


图 1-1 土粒内部和表面的电荷分布示意图

如果水不纯，含有其它盐类如 $NaCl$ ，那么水中除 H^+ 和 OH^- 等离子以外还存在着 Na^+ ， Cl^- 等离子。这些离子都是可以被土粒表面的具有游离价的原子或离子所吸引的。由于土粒表面具有不同的电荷，有正的或负的。一般说来，这些异号的表面电荷是不等的，因而总地看来土粒表面不是带正电荷就是带负电荷，所以还是要吸引水中的离子的。

水分子是偶极体，它是由两个位于等腰三角形底角的H原子和一个位于顶角的O原子形成，如图1-2所示。因而水分子的一端为正电荷，另一端为负电荷。水分子遇到具有游离价的离子后，水分子就会在这种离子的四周紧密地排列起来，如图1-3所示。而水中的离子在土粒表面电荷的吸引下，已比一般的自由液态水中紧密，所以在矿物表面附近水分

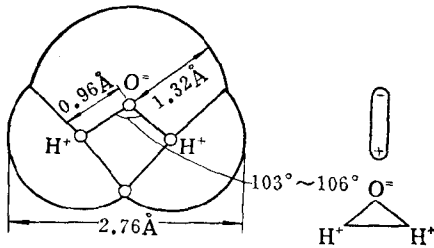


图 1-2 水分子结构示意图

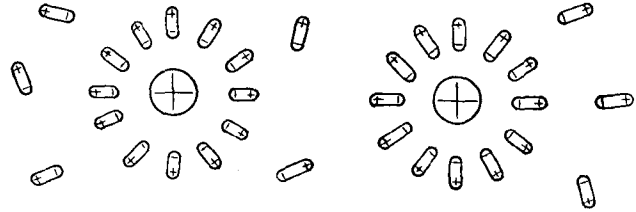


图 1-3 离子四周水分子

子的排列也比一般自由液态水中的水分子排列得紧密。水中的离子被土粒表面电荷吸引住了，因而水分子也被土粒表面电荷吸引住了。所以叫做结合水，如图1-4所示。这种结合水的密度比一般自由液态水的密度大，而且愈靠近土粒表面，结合水密度愈大，甚至可达2.4克/厘米³。排列得这样紧的离子和水分子，在抵抗外力的能力方面也远超过自由液态水。对自由液态水而言，一般是没有抗剪强度的，自由液态水在受到剪应力作用时，就立刻发生流动。但是结合水在受到剪应力的作用时，只是发生变形而不发生流动，如固体一样，只有当剪应力超过某一数值时，结合水才发生流动。结合水愈靠近土粒表面，它的抗剪强度就愈大。因而往往把结合水按它的抗剪强度不同分为**强结合水**和**弱结合水**。

一个土粒，不论它的大小如何，放在水中后，它的表面附近就会出现一层结合水，这层结合水称为**水化膜**。在这水化膜中起主导作用的是离子。这种离子的电荷与土粒表面的电荷符号相反，因而这层离子就叫做**反离子层**。这层离子的内部紧靠土粒表面，受土粒表面电荷的影响特大，因而比较固定，几乎没有活动能力，称为**固定层**。稍远一些，虽然离子还是受土粒表面电荷的吸引而不能象在一般自由液态水中那样活动，但是毕竟要活动些了，能发生扩散现象，叫做**扩散层**，如图1-4所示。

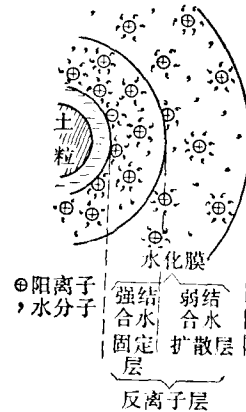


图 1-4 矿物表面结合水

所以说，一个土粒的水化膜中包含了起主导作用的离子和作为主体的水分子。从起主导作用的离子着眼，我们称这层为反离子层，并且分为固定层和扩散层。如果从作为主体的水分子着眼，我们称为结合水层，并且分为强结合水和弱结合水。在土质学中，这些名辞往往可以混用，只是在某些场合下，从离子着眼比较方便，因而称为反离子层：固定层，扩散层，在另一些场合下，从水分子着眼比较方便，而称为结合水：强结合水，弱结合水。如果粘粒与粘粒之间，或粘粒与他物之间，只要有水份存在，就有相当的连结力。

水份愈少，粘粒附着得愈紧，连结力愈强，这种连结形式叫**水胶连结**，与粒间是否存在空气无关。这种水胶连结现象，只有从离子着眼才能彻底阐明。例如两个相邻粘粒的表面假定都是带负电的（这是最常见的情况），它们都要将存在于它们之间的反离子吸引过来，因此它们之间就形成了公共反离子层，如图1-5所示，这些反离子就起到使两个颗粒紧紧地靠拢在一起的作用。如果没有公共反离子层，这两个粘粒将由于自己带同号的表面电荷而互相排斥。实际上土粒间同时存在着吸力和斥力这一对矛盾着的两种力量。吸力是在公共反离子层与土粒表面电荷间发生着的，斥力是相邻土粒的同号表面电荷引起的。在一定的条件下，这两种力量是暂时平衡的，使相邻土粒暂时保持着一定的距离。如果没有斥力，那么相邻的土粒应该无限靠拢，但这是与实际情况不符的。条件改变，例如水份蒸发了一些，那么，公共反离子层中的离子密度加大了，因而吸力增加了，使土粒互相靠拢一些。这样粒间距离变小，斥力相应地增加了，终于与吸力达到新的平衡。这就说明了为什么水份含得少，水胶连结的连结力愈大，而且土的体积会发生收缩。

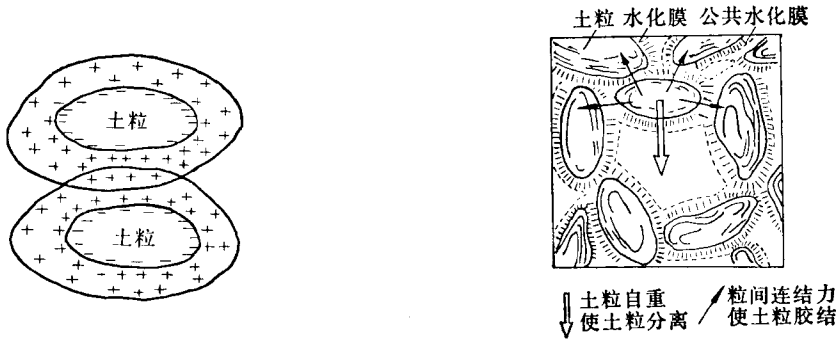


图 1-5 公共反离子层示意图

图 1-6 粒间连接示意图

两个土粒靠近时，产生的公共水化膜如图1-6所示，把相邻土粒胶结起来。但土粒的自重有使土粒脱离的趋势，所以可将公共水化膜的连结力与土粒自重之比作为土粒相互连结的牢固程度的指标。水化膜的连结力与土粒表面积成正比，而土粒的自重与它的体积成正比，因之粒间连结的牢固程度也可以用土粒的表面积与其体积之比来衡量。这个比率称为**比表面积**。它与粒径成反比，粒径愈小，比表面积愈大，连结力愈强，土具有粘着性，这种土称为**粘性土**。这种粒间连结关系即为上述水胶连结。反之，粒径大者，比表面积小，连结力不强，没有粘着性，所以粗粒土也称为**松散土**。

（三）土中固相、液相和气相之间的相互作用

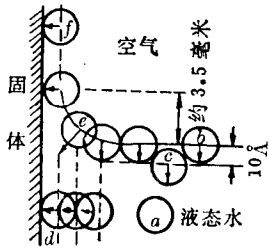


图 1-7 三相互关系示意图

水分子和气体分子一样是永动的，但气体分子的自由射程远比液态水分子大得多，因为液态水分子很接近，彼此间有很大的牵引力，妨碍着它们象气体那样地飞散。如图 1-7所示，位于液态水内部的任一个水分子 *a*，在半径约为 $10\text{ \AA}$ （即 10^{-6} 毫米）的圆球之中的所有水分子对它都有较显著的分子引力。这个球叫做**作用球**，因为 *a* 点所受各方向的分子引力相等，所以其合力为

零。位于液面的水分子，如图中 b 点，其作用球有一部分在空气中，没有分子引力，所以 b 点所受分子引力的合力指向液体内部，如小箭头所示。位于液体内部而靠近土粒表面的水分子，如图中的 d 点，它的作用球的一部分是在水化膜之中，而水化膜中水分子排列紧密，所以分子引力较自由液体中的水分子引力要大，因而就有指向固体表面的合力，如 d 点箭头所示。如果水分子位于固态、液态、气态三相交界附近，那么它的作用球有一部分在空气中，没有分子引力，有一部分在自由液体中，有一部分在水化膜中，这样分子引力的合力将与固体表面斜交，如图中 e 点的箭头所示。愈靠近土粒表面，则合力愈趋向垂直于土粒表面。液面与水分子所受的合力垂直，因而在靠近土粒表面时，液面弯曲，形成弯液面。靠近土粒表面的水分子，位于自由液体内部的如 d 点和位于液面以上者如 f 点，所受的分子引力的合力不同，在 f 点的大于 d 点的。这说明了，由于气态相的存在，使粒间的连结力有些增加。这种由弯液面而产生的力量，称为**毛细力**。在较小的毛细孔中，这种连结力更显著。例如砂土在完全干燥或完全饱水时是松散的，因为砂粒较大，它的比表面积太小，因而公共水化膜的连结力不起作用。但是当砂土湿润而又有气体时，就显出微弱的连结力来了。这种连结关系，叫做**水连结**。但土粒太大的土，如砾石等，即使有气体存在也仍旧没有连结力，因为比表面积实在太小了，连毛细力也不能起什么作用。这种连结关系叫做**不连结**。

水化膜的厚度和体积等对于固、液二相之间以及固、液、气三相之间的相互作用具有极其重要的意义。但水化膜的厚度和体积不仅与粒度成分有关，而且与土粒的矿物成分、土粒和水的化学成分也有密切的关系。土的粒度、矿物及化学等三种成分中，矿物及化学成份对于水化膜起着重要作用的粘性土来说，更是非常重要的。但对于粗粒土说来，其重要性就没有粒度成分那样大了。

第二节 土的粒度成份

（一）粒组和粒度成份

土是由大小不同的土粒组成的。例如在粗碎屑土中，除了直径大于 2 毫米以上的土粒以外，往往还有细小的土粒。在放大镜下观察砂土时也可以看到大小不等的土粒。在自然界中，土粒的大小是很悬殊的。大的直径可达 10 米以上。小的直径竟有小于万分之一毫米的。所以有必要将土按粒径的大小进行分组。以便于研究土中各种土粒大小的分配情况。

为了确定各种大小土粒的相互关系，必须首先按**粒径**（土粒的直径以毫米表示）对自然界中各种大小土粒进行分组，这种按粒径所划分成的土粒的组别叫做**粒组**。每个粒组是用粒径的两个数值作为上、下限来确定的，并且给以适当的名称。其具体划分如表 1-1 所示。

表中粒组的划分是在研究了各粒组的性质的基础上提出的。不同粒组的性质有明显的差异。例如砾石和砂的界限是以 2 毫米划分的，因为实验证明，凡大于 2 毫米的砾石无毛细上升现象，而小于 2 毫米的砂粒则有毛细上升现象。又如砂粒和粉粒的界限是 0.05 毫米，一般大于 0.05 毫米的颗粒间的内聚力极弱或没有，而在大于 0.05 毫米的粒组中加入小

于0.05毫米的土粒后，颗粒间的内聚力则可增加。土的透水性也显著下降。粉粒和粘粒的界限是0.005毫米，这是以土粒在静水中沉降速度0.00046厘米/秒来划分的，大于此值者为粉粒，小于此值者划为粘粒。粘粒的可塑性比粉粒大大增加。

表 1-1 粒 组 划 分 表

名 称		粒 径 范 围(毫 米)	名 称		粒 径 范 围(毫 米)
漂石(磨圆的)	大	>800	砂 粒	粗	2~0.5
块石(棱角的)	中	800~400		中	0.5~0.25
	小	400~200		细	0.25~0.10
				极 细	0.10~0.05
卵石(磨圆的)	极 大	200~100	粉 粒	粗	0.05~0.01
碎石(棱角的)	大	100~60		细	0.01~0.005
	中	60~40			
	小	40~20			
圆 砾	粗	20~10	粘 粒		0.005~0.002
角 砾	中	10~5	胶 粒		<0.002
	细	5~2			

由上所述，我们可以看出土是由一些大小不同、性质各异的粒组组成的。各粒组在土中相对含量的多少，就决定了该土的性质趋近于那个粒组的性质。因此，通常将组成土的颗粒的大小和各种大小颗粒（即粒组）在土中的相对含量称为土的**粒度成份或颗粒级配**。各粒组的相对含量用于土重的百分数来表示。一定粒度成份的土，必然反映出具有与其相适应的工程地质性质。

（二）粒度成份的表示方法

在工程地质实践中，测定土粒度成份（颗粒分析）的方法可分直接的与间接的两种。直接方法是利用各种方法把各个粒组分离开，直接求出各粒组的百分含量，如筛分法（适用于粒径大于0.1毫米的土）。间接方法是根据各粒组的某些不同性质来判定土的粒组含量，如比重计法（适用于粒径小于0.1毫米的土）。有关这些方法的原理及操作步骤等，将在试验中讲述。

颗粒分析的结果常列成表格和以图形表示。目前一般采用的图形表示有**曲线图**和**三角图**，下面分别进行介绍。

1. 曲线图 将颗粒分析的结果用坐标曲线图表示，该曲线称为**粒径级配曲线**。分为**累积曲线**与**分布曲线**两种。

（1）累积曲线，是以粒径为横坐标，以小于该粒径的土粒的百分含量（称累积百分含量）为纵坐标绘制的粒径级配曲线（图1-8）。累积曲线可用自然坐标或半对数坐标绘制。

从累积曲线上可以求得和判断下列问题。

1）求任一粒组的百分含量 在横坐标上找出欲求粒组的两个界限值，之后，从此二点引与纵坐标平行的直线，并使之与粒径级配曲线相交，此二交点的纵坐标差值即为该粒组的百分含量。

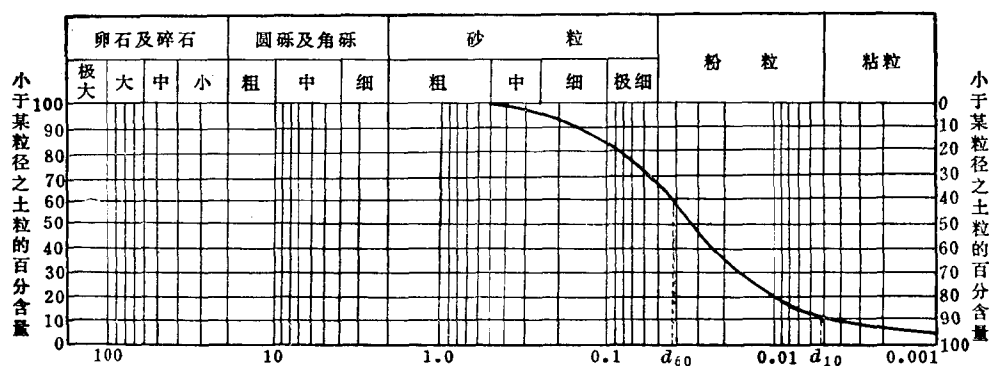


图 1-8 累积粒径曲线

2) 求相当于任一百分含量的最大粒径 自纵坐标上某百分含量处引横坐标的平行线与粒径级配曲线相交, 该点之横坐标值即为其最大粒径。

3) 求土的有效粒径 d_{10} 。土的有效粒径是指具有与该土相同透水性的等粒状土的颗粒直径。一般规定为小于10%累积含量的最大粒径。故自纵坐标的10%处引横坐标的平行线并与级配曲线相交, 交点之横坐标值即为 d_{10} 。

4) 求土的不均匀系数 C_u 不均匀系数通常是以累积含量小于60%的最大粒径 d_{60} 。(称为限定粒径)与有效粒径 d_{10} 之比表示之, 即 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$, d_{60} 之求法与 d_{10} 相同。

不均匀系数是衡量土均匀程度的指标。 C_u 愈大, 级配曲线愈平缓, 土粒大小愈不均匀, 级配良好; 反之, 曲线陡峻, 土粒均匀, 级配不好。工程上把 $C_u < 5$ 的土看作级配均匀, $C_u > 10$ 的土看作级配良好。对于级配良好的土, 粗粒间的大孔隙为细颗粒所填充, 因而土的密度较大, 相应地强度与稳定性也就较好, 透水性及压缩性较小, 适于做填方土料及混凝土工程的砂石料。

(2) 分布曲线, 是以粒组的平均粒径为横坐标, 以粒组的百分含量为纵坐标绘制的粒径级配曲线(图1-9)。分布曲线同样有自然坐标与半对数坐标之分。

分布曲线的形状, 如图1-9所示, 一般有一个峰者叫单分散土; 具有两个峰者叫双分散土; 分布曲线较平缓者, 称为多分散土。这些都反映着土的沉积条件的不同。

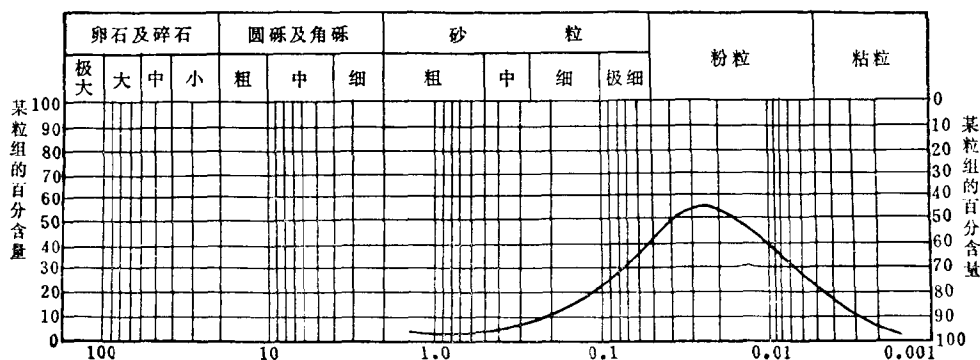


图 1-9 分布粒径曲线

峰较高而窄者，表示土较均粒；峰较矮而宽者，表示土较不均粒。

不均粒的土往往孔隙比很小，因为粗孔隙又可被细粒所充填。分布曲线愈平宽者，应特别注意机械潜蚀的可能发生。

2. 三角图 对于大量粒度分析资料的整理，采用曲线图方法显然不能满足要求，此时可采用三角坐标的方法，即三角图如图 1-10 所示。

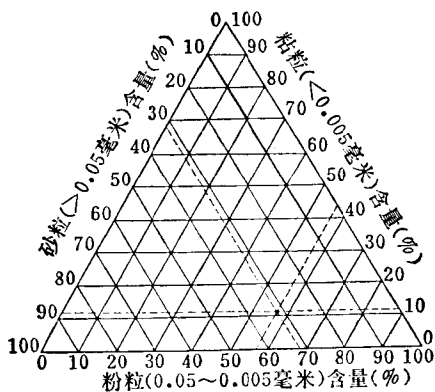


图 1-10 三角图

三角图是一个等边三角形，因为等边三角形的三个高相等，而三角形内任一点向各边引的垂线的长度之和等于三角形的高。所以若以三角形的每一个高作为 100%，则三个高即可表示出三个基本粒组的百分含量，三角形上任一点即代表一种土的粒度成份。通常三个基本粒组多采用砂粒（2~0.05 毫米）、粉粒（0.05~0.005 毫米）和粘粒（<0.005 毫米）。

具有不同粒度成份的土，在三角坐标内具有不同的位置，根据点的位置，可以确定土的名称和性质。

（三）粒度成份的意义

在水文地质、工程地质工作中，土的粒度成份具有很重要的实际意义。在具体的应用上可以解决下列问题。

（1）作为土的分类指标，按土的粒度成份进行土的分类和定出土的名称。

（2）在累积曲线上求出土的有效粒径 d_{10} ，再根据经验公式可粗略地测定土的透水性。

（3）为道路工程配制最优土。这种土具有最小的孔隙度和最良好的性质。一般配合比例如下

粘土	7~15%	（起胶结作用）
粉土	20~35%	（起充填孔隙的作用）
砂土	55~75%	（起骨架作用）

（4）当把土作为建筑材料时，根据不同的工程要求，对土进行评价选择合理的建筑材料。

（5）用以确定产生机械潜蚀的可能性和计算反滤层。

（6）在钻孔抽水时，用以选择过滤器的最合理的孔径。

（四）土按粒度成份的分类

土具有一定粒度成份，不同的粒度成份形成不同的土。在某种特殊情况下，土也可由单一的粒组组成，但在自然界中比较少见。根据土的粒度成份，可将土分成三大类：砾石土、砂土类土和粘土类土。这三大类土是根据砾石、砂、粉粒和粘粒的含量划分的。

1. 当土中不含砾粒（大于 2 毫米的颗粒）时的分类 当土中不含大于 2 毫米颗粒时，

采用下列三因分类法。首先在粒径级配曲线上确定砂粒（2~0.05毫米）、粉粒（0.05~0.005毫米）及粘粒（<0.005毫米）的百分含量。根据这三个含量的数值，按三角坐标图（图1-11）进行分类。

若土中含有砾,但其含量不超过10%则在土名之前加“含少量的砾”五字。

从土的分类图显然可以看出：土主要随粘粒含量不同而分类。如粘粒含量大于60%为重粘土，在35~60%，定为粘土，在10~35%，定为壤土或粉质壤土，在3~10%，定为砂壤土或粉质砂壤土。这是由于土中粘粒含量的改变，将对土的工程性质产生很大影响。

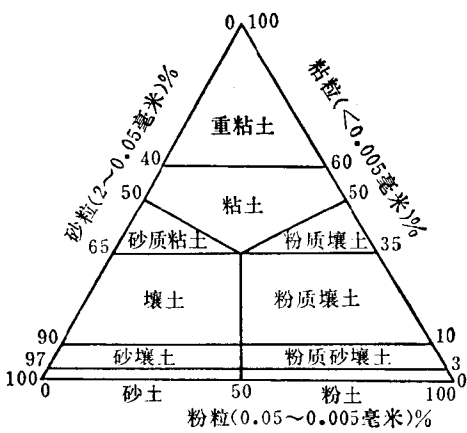


图 1-11 细粒土分类

2.砂土分类 当按图1-11分类属于砂土时，还可按表1-2对砂土进一步分类。砂土的野外鉴别方法见表1-3。

表 1-2		砂 土 分 类
土 的 名 称		颗 粒 级 配
砾	砂	粒径大于 2 毫米的颗粒占全重25~50%
粗	砂	粒径大于0.5毫米的颗粒超过全重50%
中	砂	粒径大于0.25毫米的颗粒超过全重50%
细	砂	粒径大于0.1毫米的颗粒超过全重75%
粉	砂	粒径大于0.1毫米的颗粒不超过全重75%

注 定名时应根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

表 1-3	砂 土 的 野 外 鉴 别 方 法				
鉴 别 特 征	砾 砂	粗 砂	中 砂	细 砂	粉 砂
观察颗粒粗细	约有 1/4 以上颗粒比荞麦或高粱粒(2毫米)大	约有一半以上颗粒比小米粒(0.5毫米)大	约有一半以上颗粒与砂糖或白菜籽(>0.25毫米)近似	大部分颗粒与粗玉米粉(>0.1毫米)近似	大部分颗粒与小米粉近似
干燥时状态	颗粒完全分散	颗粒仅个别有 粘 结	颗粒基本分散，部分胶结，一碰即散	颗粒少量粘结，稍加碰击即散	颗粒大部分粘 结，稍压即散
湿润时用手拍后的状态	表面无变化	表面无变化	表面偶有水印(水析现象)	表面有水印(翻浆)	表面有显著翻浆现象
粘着程度	无粘着感	无粘着感	无粘着感	偶有轻微粘着感	有轻微粘着感