

中等专业学校教材

土质学及土力学

(第二版)

四川省水利电力学校 黄道宣 主编

水利电力出版社

中等专业学校教材

土质学及土力学

(第二版)

四川省水利电力学校 黄道宜 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是在第一轮教材的基础上，吸取了兄弟学校的教学经验编写而成的。

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、主要类型土的工程地质特征、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，主要讲述地基应力、地基沉降、地基强度和稳定性、土坡稳定性及土压力等的计算和分析。书中附有例题，每章均有复习思考题和习题。书后还附有教学用的土工试验指导书及试验报告。

本书为水利电力类中等专业学校“工程地质及水文地质”专业通用教材，其它相近专业可作为教学参考，也可供工程地质、水文地质技术人员参考。

中等专业学校教材

土质学及土力学

(第二版)

四川省水利电力学校 黄道宣 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21.5印张 464千字

1980年6月第一版

1987年6月第二版 1987年6月北京第二次印刷

印数6131—14670册 定价2.45元

书号 15143·6369

前 言

本书是根据一九八三年水利电力部制定的《一九八三～一九八七年中等专业学校水利电力类专业教材编审出版规划》，并在总结第一轮教材的经验基础上编写的。

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，着重阐述土质学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。

本书内容按教学大纲的要求，较系统地、全面地介绍了土质学及土力学的基本知识。通过学习，能够掌握土的主要工程地质性质和在工程实践中运用这些知识的初步能力。

为了兼顾水利类和电力类工程地质专业的需要，书中有的章节内容偏多（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。

参加本书编写工作的还有四川省水利电力学校熊昌建同志。

本书由湖北省电力学校易莫平同志进行审核，对初稿提出许多修改意见。在编写过程中，有关兄弟学校和单位对本书的编写提出不少很好的意见，并提供了不少的资料，在此一并深表谢意。

对于书中的错误和不妥之处，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

一九八五年三月

目 录

前 言

绪 论	1
第一节 《土质学及土力学》在水利电力工程建设中的作用与任务	1
第二节 《土质学及土力学》的内容和研究方法	2
第三节 《土质学及土力学》在我国的发展简况	3
第一章 土的组成及结构构造	5
第一节 土的基本组成	5
第二节 土的粒度成份	6
第三节 土的矿物成份	13
第四节 粘粒与水的相互作用	9
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	41
第一节 土的重量及其指标	41
第二节 土的含水性及其指标	43
第三节 土的孔隙性及其指标	43
第四节 各种指标之间的关系	46
第三章 土的水理性质	50
第一节 粘性土的状态及其指标	50
第二节 粘性土的膨胀、收缩及崩解性	60
第三节 土的毛细性	61
第四节 土的透水性	64
第四章 土的力学性质	68
第一节 土的压缩性	68
第二节 土的抗剪性	76
第三节 动荷载作用下土的压密性	87
第五章 主要类型土的工程地质特征	93
第一节 一般土的工程地质特征	93
第二节 特殊土的工程地质特征	95
第三节 主要成因类型土的工程地质特征	137
第六章 土内应力的分布	142
第一节 地基和基础的一般概念	142
第二节 土内应力的一般概念	145

第三节	土的自重应力	146
第四节	基础底面的压力	147
第五节	地基中的附加应力	151
第七章	地基沉降量计算	175
第一节	概述	175
第二节	地基最终沉降量计算	176
第三节	沉降与时间的关系	190
第四节	容许沉降量与容许沉降差	196
第八章	地基强度及稳定性	200
第一节	地基强度及稳定性的一般概念	200
第二节	土的极限平衡理论	203
第三节	按塑性区深度确定地基承载力	205
第四节	按极限荷载确定地基承载力	208
第五节	地基稳定性验算	214
第六节	按地基规范确定地基容许承载力	219
第七节	按野外原位测试的方法确定地基容许承载力	221
第九章	土坡稳定分析	227
第一节	土坡稳定的一般概念	227
第二节	无粘性土坡稳定分析	228
第三节	粘性土坡稳定分析	229
第四节	土坡稳定分析中的一些问题	237
第十章	土压力	240
第一节	土压力的一般概念	240
第二节	朗肯土压力理论	243
第三节	库仑土压力理论	246
第四节	朗肯理论与库仑理论的比较	250
第五节	土压力图解法	259
第六节	某些具体条件下土压力的计算	261
第七节	某些土压力问题的讨论	268
第十一章	土性质人工改良的基本原理	273
第一节	概述	273
第二节	提高土强度的方法	274
第三节	降低土透水性的方法	275
第四节	提高土强度并降低其透水性的方法	276
附录		279
附录一	土工试验	279
附录二	土工试验报告	307

绪 论

第一节 《土质学及土力学》在水利电力工程建设中的作用与任务

土质学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。为了使工程建筑物经济、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**。土质学及土力学就是以组成地壳的土石作为其研究对象的。

具体地说，**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，土质学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。

土质学及土力学本来就是两门关系十分密切的学科。近十几年来，土质学某些问题的研究正与土力学的研究相互渗透，相互结合；例如把土的微观结构的研究和土的应力—应变—强度关系的研究结合起来，把土的变形、强度机理和土的工程性质指标结合起来，进一步说明力学现象的本质，为电算技术在土力学中的应用提供比较符合实际的计算模型，以解决更为复杂的工程问题。因此，本课程把土质学与土力学结合在一起，作为一门课程。

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，如土堤、土坝和土渠等。因此，如果对土的工程地质问题重视不够，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31m，平面尺寸60m×23m，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，因地基土失去稳定而发生严重倾斜。谷仓一侧陷入土中8.8m，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，将仓身扶正，才恢复使用。又如巴西一座十一层大厦，大厦平面尺寸为29m×12m，支承在99根21m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4mm，晚间8点钟大厦在20s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26m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25m的油

罐,当油罐建成后试水时,在35h内,水压达到 $11(9.81\text{kN/m}^2)$,由于荷载增加太快,加荷后2h,地基土发生急剧挤出,卸荷后测得油罐的沉降达到0.5m,油罐旁的地面隆起高度达0.4m。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学及土力学,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性质方面。为此,可将土质学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)提出有关建筑物施工方法的建议。

(5)提出改善土的不良工程性质的方法。

第二节 《土质学及土力学》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和技能。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。从而树立对土的基本认识,为以后章节的学习打下基础。

2.各种主要类型土的工程地质特征 了解主要的和常见的不同类型土的工程地质性质。

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及确定地基容许承载力和地基稳定验算的主要方法以及土坡稳定性分析。

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方法。

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和适用范围。

由于土质学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能，这也是土质学的内容之一。通过实验将有助于深入地理解和验证基本概念和理论。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 《土质学及土力学》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地基，才能保留到今天。又如，有名的大运河及联接湘、桂两水的人工运河——灵渠均开凿于纪元前。再如，五代时开始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。处理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。

在解放前工程建设较少。就以水电工程来说，只有为数极少的水库坝址曾作过一些调查，工程地质几乎是个空白点，至于土质学及土力学就更谈不上了。当时，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。

建国后，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，遇到了不少与土质学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、码头及其它大型工程。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、膨胀土、软土和人工填土等特殊土性质的研究；对软粘土流变性质和固结理论、砂土振动液化和土体蠕变理论的研究等等，都取得了一些有价值的成果。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振密、防渗墙等各种水工地基处理方法的应用，也积累了一定的经验。特别是电子计算技

术和有限单元法、电测、放射性、弹性波、声波显像、红外线、X射线、静力和动力触探、现场孔隙水压力仪、测斜仪、应力应变传感器和电子显微镜等新的先进技术和设备的使用和推广，使本学科在理论与实践相结合方面产生了新的飞跃。近年来，为适应四个现代化建设事业的发展，不少有关部门根据生产实践的需要，总结了以往的经验，陆续编制出了这方面的规程、规范和一些技术规定。

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地开展着土质学及土力学的研究工作，解决了理论上和生产实际中提出的一些重大问题，取得了一定的成就。随着社会主义事业的发展，今后在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，应该不断地调查研究，总结经验，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

岩石经过风化、剥蚀、搬运、沉积等地质作用过程后，所形成的各种疏松产物，在工程上称之为土（内力作用也可以破碎岩石，形成火山灰、断层泥等）。广义的概念是将岩石也包括在内统称为土石。土是地壳表面的最新沉积物，未经固结成岩，松散软弱，其组成和性质极为复杂，且易发生变化，对建筑物的承载能力较差，在建筑物的作用下易于变形。土体就是由这些性质各异的土（层）组成的。因此，要了解土体的工程地质特征，必须首先研究各层土的各自特征，即土层的物质组成，结构构造以及物理、水理、力学性质。然后再根据其成因类型，厚度变化和延伸范围以及各层土的组合特征，进而合理评价土体的工程地质性质。

第一节 土的基本组成

在沉积岩石学和第四纪地质学中，一般只将各种固体土粒（岩石碎屑及矿物颗粒）作为土的物质组成，不考虑土粒间孔隙中的水和气体，然而，对着重研究土的工程地质性质的土质学来说，因土粒间的水和气体也直接影响土的工程地质性质。因此，研究土的物质组成时，将充填土粒间孔隙中的水及气体连同构成土骨架的土粒都作为土的基本组成物质进行研究。

土中固体颗粒部分，称为**固态相部分**，构成土的骨架，称之为**土粒**。土粒间孔隙中充满着液体或气体，液体一般是水，称为**液态相部分**；气体主要是空气和水蒸气，称为**气态相部分**。在负温条件下还有冰存在于其中。根据工程地质观点，可将土作为多相体系来研究，不仅研究固相（矿物颗粒），而且要研究液相（主要是水）和气相（主要是空气和水蒸气）以及特殊相（冰）。一般情况下，土为三相体系，主要是由矿物颗粒，水和空气这三相组成。

土中固态相、液态相和气态相，这三个基本组成部分不是彼此孤立的，机械地拼凑在一起，而是相互联系，相互作用，共同决定着土的工程地质性质。

三个相无论是各自的绝对数量或是三者之间的比率，都不是固定的，而是随着时间的延续，在不同自然环境的影响下，不断地变化着。其中固体土粒变化较小，虽然在风化作用以及流水作用和各种动力作用下，固体土粒被破坏、搬运或聚集，发生数量增减或质量上的变化，但是这些作用引起的变化与水和空气的变化相比，需要较长的时间，或者必需具备一定的条件才可能发生。因此，固体土粒仍然是土的最主要的物质成分，三相组成物质中，土粒为主体构成土的骨架，也是最稳定，变化较小的。三者之间相互作用过程中，土粒一般属于主导地位。例如，不同大小土粒与水相互作用，水的状态将呈现不同类型，从本质上说，土的工程地质特性还是取决于组成土的土粒大小和矿物类型，即土的粒

度成分和矿物成分。所以，各种类型土的划分，仍然首先是根据组成土的粒度成分，而土的结构特征，也是通过土粒大小、形状，排列方式及相互连结关系反映出来。而土中液相（水）和气相（空气）的数量变化，却对于客观环境所给予的影响极其敏感。当土的全部孔隙完全被水充满时，形成饱水土，性质柔软。当孔隙中完全充满空气时，则成为绝对干燥状态的土，即为干土。干土有的坚硬有的松散。例如，干粘土是坚硬的，干砂土则是松散的。在土的孔隙中水和空气同时存在时，称之为湿土，其性质介于饱水土和干土之间，则为三相体系了，在自然界中，湿土是最常见的。

当土的孔隙中水和空气的数量比率变化时，土处于不同的状态，同时呈现不同的工程地质性质。对粘性土来说影响尤为显著，例如，粘性土的水份由少到多，它可能由塑性状态转变到流动状态，则力学强度逐渐降低。

组成土的各个相是相互作用和有机联系的，这是由于矿物颗粒的表面能和孔隙水溶液中电解质的存在等原因（在以后章节将作详尽介绍）使得在它们之间的接触面上发生着复杂的物理或物理—化学的相互作用，这些作用使土产生了许多特殊的现象，如毛细现象，溶解现象，吸附现象等，它们对土的工程地质性质有着极为重要的影响。

土的工程地质性质从土的组成来说，主要取决于起主导地位的固相和可变性大的液相，而气相的影响较小。所以本章着重介绍土的固相和液相。

第二节 土的粒度成份

（一）粒组和粒度成份

组成土体骨架的土粒，大小悬殊，性质各异。土颗粒的大小一般以其直径来表示，简称之为**粒径**，常用 d 表示，其单位一般采用mm。应该指出，自然界土的颗粒并非理想的球体，通常为椭球状，片状，棱角状或不规则形状，而且表面的光滑程度也是不相同的。因此，粒径应理解为土粒的平均直径或等效直径。

为了研究土的工程地质性质，将颗粒大小变化的范围，划分成几个粒径区段，每一粒径区段中所包括的这些大小比较相近的颗粒，称之为**粒组**。每一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。例如，砂粒组是 $2\sim 0.05\text{mm}$ 这个区段来确定的， 2mm 是它的上限， 0.05mm 是下限。

粒组的划分是在研究了各粒组性质的基础上提出的。目前粒组划分的方案甚多，我国广泛采用的是图1-1的划法，此方案符合下述基本原则：

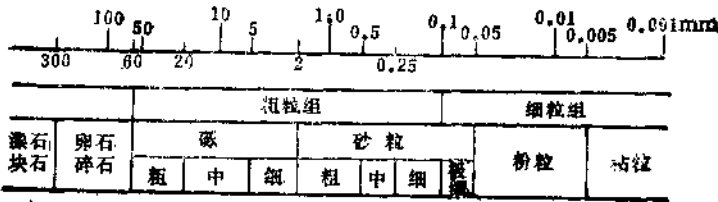


图 1-1 粒组划分图

首先,它符合土质学的研究目的和任务,所划分出的粒组反映了它们的工程地质性质的特点。例如:由粒径大于2mm的粒组所组成的土,透水而不容水,无毛细现象,因而它在任何情况下,颗粒间都不具有粘结力;由粒径为 $2\sim 0.05\text{mm}$ 的砂粒组成的土,不容水,但具有毛细力,故其颗粒之间虽然无粘结力,但当其含有一定量水份时,却产生毛细连结;粒径小于 0.005mm 的颗粒(称粘粒组),具胶体特性,因而由其组成的土就具有独特的性质,如可塑性,膨胀性以及极弱的透水性,强烈的可压缩性;粒径为 $0.05\sim 0.005\text{mm}$ 的颗粒(称粉粒组),为砂粒组和粘粒组的过渡粒组,无胶体特性,其性质与砂粒组相近似,毛细水含量高,颗粒间有一定的粘结性,透水性弱。由此可见,由不同粒组为主组成的土,其工程地质性质有着极大的差异。

其次,这样划分出的粒组,研究方法也各不相同:一般直径大于2mm的颗粒均可用筛子进行分离,肉眼及显微镜进行观察研究。砂粒组同样可以用筛子分离,但须用双目放大镜观察。对于粘粒组和粘粒组含量的测定,需根据颗粒在静水中沉降速度来进行。粉粒组尚可用显微镜进行观察,而对于粘粒组进行研究,则必须用X射线或电子显微镜等才有可能。

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,通常将组成土的各种大小颗粒(即粒组)的相对百分含量称为土的**粒度成份或颗粒级配**。显然,一定粒度成份的土必然具有与其相应的工程地质性质。

(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直接分离开,求出各粒组的百分含量,如筛分法(适用于粒径大于 0.1mm 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 0.1mm 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。

表格法是用列表的办法来表示,常见于土工试验报告书,例如表1-1。这用于按粒度成份分类是十分方便的。

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1-2)。累积曲线可用自然坐标或半对数坐标绘制。

从累积曲线上可以解决下列问题。

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。

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

表 1-1

粒度成份分析结果

粒 组 (mm)	粒 度 成 份 (以重量%计)		
	七 样 a	土 样 b	土 样 c
10~5	—	25.0	—
5~2	3.1	20.0	—
2~1	6.0	12.3	—
1~0.5	14.1	8.0	—
0.5~0.25	41.5	6.2	—
0.25~0.10	26.0	4.8	8.0
0.10~0.05	9.0	4.6	14.4
0.05~0.01	—	8.1	37.6
0.01~0.005	—	4.2	11.1
0.005~0.001	—	5.2	18.9
<0.001	—	1.5	10.0

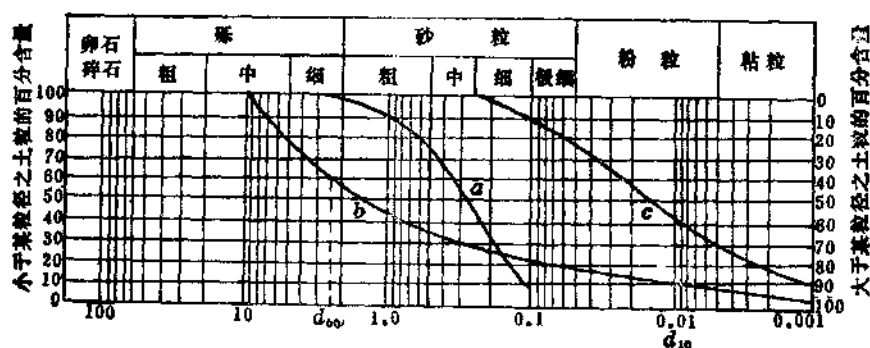


图 1-2 累积粒径曲线

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) 求土的级配指标，

$$\text{不均匀系数 } C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$\text{曲率系数 } C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

式中 d_{30} 、 d_{60} 分别是级配曲线上颗粒含量小于30%和60%的最大粒径。求法与 d_{10} 相同。指标 C_u 反映大小颗粒的搭配情况， C_c 则描述它们的分布范围。

规定良好级配(W)的条件是：

$$C_u > 5, C_c = 1 \sim 3;$$

不同时满足上述两条件的，则为不良级配(P)。

级配良好的土，不均匀系数 C_u 值越大，级配曲线愈平缓，土粒大小愈不均匀(图1-2曲线b)；反之级配不好，曲线陡峻，土粒均匀(图1-2曲线a)。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越好，透水性
与压缩性较小，适于做填方土料及混凝土工程的砂石料。

(2) 分布曲线，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1-3)。分布曲线同样有自然坐标与半对数坐标之分。曲线一般有一个峰，
峰较高较窄者表示土较均匀，矮而宽者表示不太均一。具有一个较窄的峰者，叫单分散
土；具有二个峰者，叫双分散土；分布曲线很平缓者，叫多分散土。对于分布曲线愈平宽
者，应特别注意机械潜蚀的可能发生。

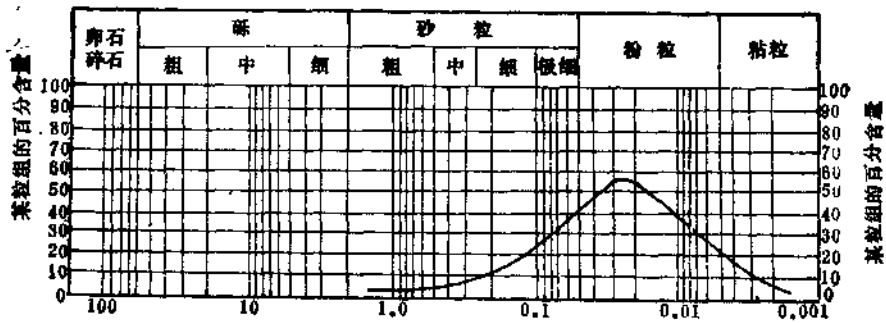


图 1-3 分布粒径曲线

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，即三角图表示，如图1-4所示。

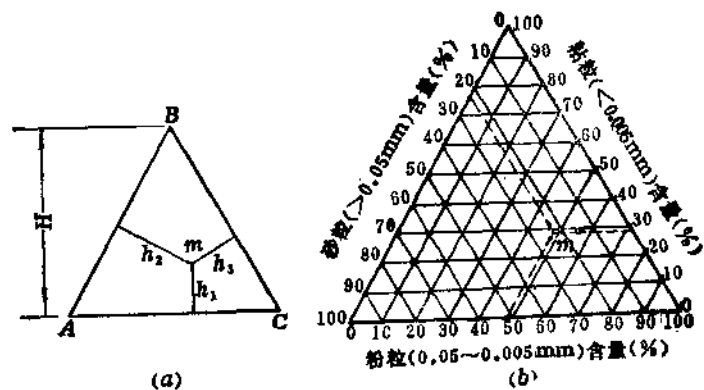


图 1-4 三角图

图1-4 (a) 是一个等边三角形， $h_1 + h_2 + h_3 = H$ 。如令三角形的高 H 等于100%， h_2
为粘粒组的百分含量， h_1 为粉粒组的百分含量， h_3 为砂粒组的百分含量，则 m 点就表示某
一土样的粒度成份。如图1-4 (b) 上的 m 点就代表表1-1中的土样c， m 点的三个箭头就分
别指出三个粒组的百分含量，粘粒组含量为28.9%；粉粒组为48.7%；砂粒组为22.4%。
对于其它粒度成份的粘性土样，亦可用同样的方法确定其在图中的位置。根据点的位置，
可以确定土的名称和性质并能将若干土样在同一图中进行比较。

以上三种表示方法的特点及适用条件如下，

表格法能很清楚地用数量说明土样的粒组含量，但对于大量土样之间的比较，就显得过于冗长，且无直观概念。使用上比较困难。

曲线法能用一条曲线表示一种土样的粒度成份，而且可以在一张图上同时表示几种土样的粒度成份，能直观地比较其颗粒级配。

三角坐标法能用一点表示一种土的粒度成份，在一张图上能同时表示许多种土的粒度成份，便于大量土样级配情况的分析和土作为建筑材料的级配设计。

(三) 研究粒度成份的意义

粒度成份表示了土中粒组的分布特征，具有一定粒度成份的土就具有一定的物理力学性质。粒度成份是决定土工程地质性质的一个很重要的因素。因此，研究土的粒度成份，在工程地质实践中意义颇大，主要有下列四个方面：

(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) 分析和恢复沉积物生成的古地理环境。

(3) 确定土的一些物理技术性质，解决某些实际问题，如：1) 用经验公式求渗透系数；2) 预测砂土的潜蚀，设计反滤层，选择过滤器孔径；3) 人工配制最佳土。

(4) 评价土可否作建筑材料及其质量如何。预测工程建成后，土的性质可能发生的变化和应采取的防治措施。

(四) 土按粒度成份分类

土具有一定的粒度成份，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：砾石类土、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. 粘土类土的分类 当土中不含砾粒（大于2mm的颗粒）时，采用下列三因分类法。首先在粒径级配曲线上确定砂粒（ $2\sim0.05\text{mm}$ ）、粉粒（ $0.05\sim0.005\text{mm}$ ）及粘粒

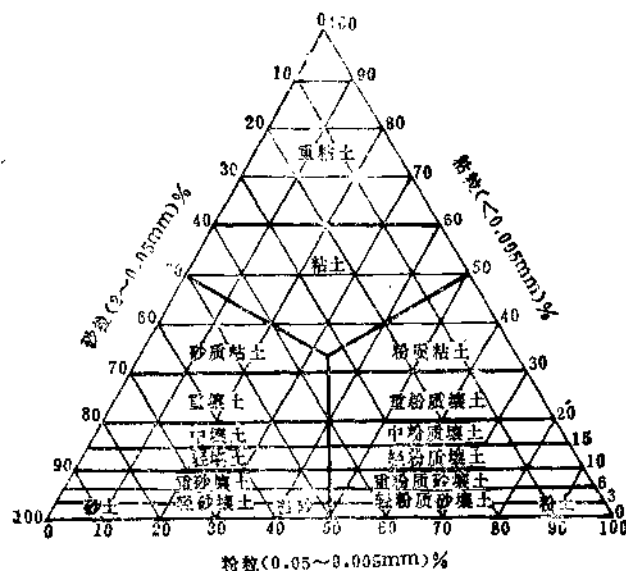


图 1-5 细粒土分类

表 1-2

粘性土野外鉴别方法

土 类	鉴别方法	湿 测 法			干 测 法		
		搓条情况	捻摸感觉	刀切情况	强度状况	捻摸感觉	浸于水中状况
粘 土		能搓成小于1毫米的细条	用手捻摸有滑腻感, 感觉不到有颗粒存在, 水多时极为粘手	用刀切削时表面光滑, 对刀有粘腻阻力	强度很大, 呈坚硬固体, 用力锤击方可打碎, 碎块有棱角	土面用手擦摸时没有粉末, 断口棱角尖锐刺手	短时土块不溃散, 只是棱角处有少量颗粒分散
壤 土	重	能搓成1~1.5mm的细条	用手捻摸有滑腻感, 但感觉略有粗细	有光滑面, 切面规则	强度较大, 用手指不能压碎, 锤击时散成碎块, 断口有棱角	土面用手擦摸稍有粉末, 断口棱角不刺手	土块浸水后有些颗粒分散, 土面周围水浑浊, 但不能辨别出颗粒来
	中	能搓成1.5~2mm的细条	无滑腻感, 但有粘感, 有少量细粒	无光滑面, 但切面平整	较坚硬, 锤击时成很多小块, 用手可折断, 断口稍有棱角, 但平钝	土面用力擦摸有较多粉末, 断口棱角可摸钝	土块浸水后土周围颗粒分散较多, 在少许时间后略加搅拌即大部分分散
	轻	能搓成2~3mm的细条	容易感觉有细粒存在, 轻微粘感	切面稍显粗糙	强度较差, 锤击时有粉末出现, 可用手指压碎	土面擦摸时有砂感, 容易掉粒	土块浸水后, 不久就溃散, 能辨出较大颗粒
砂 壤 土	重	能搓成大于3mm的短土条	有砂粒的感觉, 略有粘手	有显著粗糙面	强度很差, 用手指可以捻成粉末	土面粗糙, 稍擦摸就掉粒	浸水后出大量气泡且溃散后, 颗粒很快就沉底
	轻	很难搓成土条, 可搓成土球	砂粒感觉很突出, 只有水分多时, 略有粘感	刀切即行破碎	强度极小, 稍用手指捻之即碎成粉状, 如同散砂	土面很粗糙, 砂感很明显, 一碰即碎	浸水后有大量气泡, 马上溃散, 土粒迅速沉底

($<0.005\text{mm}$) 的百分含量。根据这三个含量的数值, 按三角坐标图 (图1-5) 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“含少量砾的”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, 粘性土的野外鉴别方法见表1-2。

2. 砂土分类 当按图1-5分类属于砂土时, 还可按表1-3对砂土进一步分类。砂土的野外鉴别方法见表1-4。

3. 砾石类土分类 当土中砾的含量大于10%时, 首先自粒径级配曲线上求出砾 (大于2mm) 的含量, 砂粒 (2~0.05mm) 的含量, 粉粒加粘粒 (小于0.05mm) 的含量, 按三角坐标图 (1-6) 进行砾质土分类。