

高等学校教材

土力学

武汉水利电力大学 冯国栋 主编

中国水利水电出版社

TU43
F450

男工的基本工资：由基本工资、绩效工资、津贴、补贴、福利费、社会保险费、住房公积金、工会经费、职工教育经费、劳动保护费、其他费用等组成。

内 容 提 要

本书适用作《水利水电工程建设》、《水利水电工程施工》、《农田水利工程》以及《河流泥沙工程》等专业的高等学校教材,也可供有关专业科技人员参考。

全书共分十章,包括土的物理性质及土的工程分类,地基渗流及渗透稳定,土中应力计算,土的压缩与固结理论,土的强度理论。挡土墙及板桩墙的土压力计算,地基及土坡的稳定性分析以及地基设计,桩基础和地基处理等方面内容。书内除引用现行的规范、规程及有关经验公式时仍用其中的原单位外,均采用我国法定计量单位、技术名词及符号则按中国土力学及基础工程学会编的《土力学及基础工程名词》一书中规定的使用。书内每章末均附有习题及答案和主要参考书目,书末并附有常用的英制、公制及我国法定计量单位换算表。

高等学校教材

土 力 学

武汉水利电力大学 冯国栋 主编

*

中国水利水电出版社

出版

(原水利电力出版社)

(北京三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市密云县印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 15.25印张 341千字

1986年5月第一版 1998年10月北京第五次印刷

印数 40473—48472册

ISBN 7-80124-629-2/TV·345

(原 ISBN 7-120-00639-8/TV·213)

定价 15.00元

前 言

本书依据 1982 年 4 月水利电力部土力学教材编审小组扩大会议通过的高等学校土力学教学大纲（草案，四年制水利水电工程专业适用）编写的。

本书由武汉水利电力大学冯国栋教授主编，并编写土的击实性，地基稳定性，桩基础及地基处理；武汉水利电力大学刘祖德教授编写绪论，土的变形性质和地基沉降计算，土的抗剪强度；成都科技大学胡定教授编写土中应力，挡土墙与板桩墙的土压力计算及地基设计；成都科技大学屈智炯付教授编写土的物理性质和工程分类，土的渗透性及土坡稳定性分析。

本书由华东水利学院钱家欢教授及华北水利水电学院王正宏付教授共同审阅，他们的审阅，对提高本书的质量起了很好的作用。此外，教材编审小组的其他同志，特别是西安理工大学的刘祖典教授也对本书提供了不少宝贵意见，谨此一并向他们表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限，书中谬误之处，敬请读者多加指正。

编 者

一九八四年八月

目 录

前 言	1
第一章 绪论	1
第一节 土力学的任务	1
第二节 土力学的内容、学习方法及与其它课程的关系	1
第三节 土力学的发展简介	2
第二章 土的物理性质及工程分类	5
第一节 概述	5
第二节 土的三相组成和土的结构	5
第三节 土的物理性质指标	12
第四节 土的物理状态指标	18
第五节 土的击实性	22
第六节 土的工程分类	25
第七节 习题	31
参考书目	32
第三章 土的渗透性	33
第一节 概述	33
第二节 达西定律及其适用范围	33
第三节 渗透系数及其确定方法	34
第四节 渗流作用下土的应力状态	39
第五节 渗透变形	42
第六节 流网在渗透稳定计算中的应用	44
第七节 习题	46
参考书目	46
第四章 土体中的应力	47
第一节 土的自重应力	47
第二节 基底压力	48
第三节 地基中的附加应力	50
第四节 感应图法	63
第五节 土中附加应力的一些其它问题	65
第六节 习题	67
参考书目	69
第五章 土的变形性质和地基沉降计算	70
第一节 概述	70
第二节 土的压缩性	70
第三节 地基最终沉降量的计算	77

第四节	饱和土的渗透固结理论	88
第五节	土的三维压缩与沉降	102
第六节	习题	110
参考书目		112
第六章	土的抗剪强度	113
第一节	概述	113
第二节	土的抗剪强度规律和极限平衡条件	113
第三节	土的剪切试验	117
第四节	总应力强度指标与有效应力强度指标	122
第五节	土在剪切过程中的性状	125
第六节	三轴试验中试样的应力路径	134
第七节	习题	138
参考书目		139
第七章	土压力	140
第一节	土压力产生条件	140
第二节	朗肯土压力理论	142
第三节	库伦土压力理论	147
第四节	影响土压力计算值的一些因素	153
第五节	朗肯理论和库伦理论的比较	155
第六节	减小主动土压力的措施	155
第七节	板桩墙的土压力计算	158
第八节	习题	162
参考书目		162
第八章	土坡的稳定性分析	163
第一节	概述	163
第二节	无粘性土土坡的稳定性分析	164
第三节	粘性土土坡的稳定性分析	165
第四节	影响土坡稳定的因素	173
第五节	复合滑动面的土坡稳定性分析	180
第六节	土坡稳定性分析的讨论	182
第七节	习题	184
参考书目		185
第九章	地基稳定性	186
第一节	概述	186
第二节	按极限荷载确定地基承载力	188
第三节	按极限平衡区发展范围确定地基承载力	197
第四节	用原位测试成果确定地基承载力	201
第五节	按工程规范确定地基容许承载力	205
第六节	习题	209
参考书目		210

第十章 地基设计、桩基础与地基处理	211
第一节 地基设计概述和程序	211
第二节 勘探取土及试验	212
第三节 地基设计	213
第四节 桩基础概述	217
第五节 地基处理	226
第六节 习题	234
参考书目	235

第一章 绪 论

第一节 土力学的任务

土是地壳表层母岩经受强烈风化（包括物理的、化学的和生物的风化作用）的产物，是各种矿物颗粒（土粒）的集合体。颗粒间的联结强度远比颗粒本身强度小，甚至没有联结。在一般情况下，土颗粒间有大量孔隙，而孔隙中通常有水和空气。因此，土与其它连续固体介质相区别的最主要特征，就是它的多孔性和散体性。

土在地壳表面上分布极广，它与各种工程建筑的关系十分密切。特别在水工建设中，土更是被广泛地利用。如在土层上修建堤坝、涵闸、渡槽、桥梁、码头等建筑物时，土就被用作地基（称基土）；如修筑土质堤坝、路基和其它土工建筑物时，土就被用作建筑材料（称土料）；此外，如修建运河、渠道、隧洞、地下厂房以及地下管道等，则常会遇到将土用作建筑物周围的介质或护层的情况。土的性质对于工程建筑的质量、性状，具有直接而又重大的影响。因此，对土的研究直接关系到工程的经济合理和安全使用问题。

土力学是利用力学的知识和土工试验技术来研究土的强度和变形及其规律的一门科学。一般认为，土力学是力学的一个分支，但由于它的研究对象——土，是以矿物颗粒组成骨架的松散颗粒集合体，其力学性质与一般刚性或弹性固体，以及流体等都有所不同。因此，一般连续体力学的规律，在土力学中应结合土的特殊情况作具体应用。此外，还要用专门的土工试验技术来研究土的物理化学特性，以及土的强度、变形和渗透等特殊力学性质。

第二节 土力学的内容、学习方法及与其它课程的关系

本课程学习的最基本要求是：

①了解土的基本物理力学性质、掌握若干主要土工试验的基本原理和一般方法，这将在第二、三、五、六章中阐述（有关土工试验的具体方法另在试验课中讲授）。

②了解土体在承受荷载后或改变其周围环境后的性能、变化规律。在第四章中，主要研究土体中的应力分布，而在第五、六章中，则主要分析土体的变形和稳定特性。此外，在第三章中还简要地涉及土体的渗透稳定问题。

③掌握一般水工建筑物设计中有关土力学内容的计算方法。如地基承载能力、地基变形发展过程、土坡稳定性和作用于挡土结构的土压力、桩基础等计算。这些内容主要见之于第五、七、八、九、十等章，并在第十章中简介地基设计要点与地基处理之后对本课程各部分的应用加以综合分析。

学习土力学时,必须特别注意认识土的特点,然后才能运用土力学的基本知识去正确地解决水工建设中的土工问题。土最主要的特点,首先是它的多样性。由于成土母岩不同和风化作用的历史不同;在自然界中,土的种类繁多、分布复杂、性质各异。甚至在同一地区或同一地点,地基中可能埋藏着多种土层。同一土层的性质也因其所处环境不同而有所差异。在研究土的物理力学性质时,必先重视土的工程地质勘察,钻探取样和土工试验,查清土的种类和存在状态。绝不能认为只凭一个土名就可概括该土的全部性质指标。此外,还应从工程实际出发,对具体工程中的基土、土料规定具体的土工试验项目和方法。例如,我国西北地区黄土在荷载作用下浸水后能迅速产生巨量的下沉变形。因此,对它必须做湿陷变形试验等。

土的第二个主要特点是它的易变性,也就是说,土的工程特性经常受着外界的温度、湿度(包括地下水作用)、压力(如建筑物荷载)等影响而发生显著变化。工程设计中应尽可能地预先估计到在建筑物施工和运行中,土因受外界影响而产生的各种力学现象(如基土巨大沉降、土体开裂变形、土浸水失稳等),又要按照土质变化的客观规律,能动地改善土的性质,或使建筑物的设计、施工、运行管理能适应土的这种变化规律,以保证建筑物的安全和正常使用。例如粘土地基的最终变形量往往很大,但变形过程又可能延续很久(以年计)。这样,必须比较精确地预估建筑物最终变形量和变形随时间的发展过程,以及变形可能引起的各种工程后果,并在施工和使用中加强观测,采取工程措施以防止变形的危害性。

研究水工建筑物地基和堤坝一类挡水的土工建筑物时,还应特别注意下列特点:一般说来,建筑物规模大,地基影响范围广。因此,所遇到土的埋藏情况就更为复杂。挡水建筑物的修建又常会严重地改变地基原有水文地质条件,给建筑物本身的稳定性带来不利影响;水工建筑物除承受垂直荷载外,还经常承受巨大的水平荷载作用,土体中应力与变形分布情况因而更为复杂;此外,水工建筑物必然还受到水的渗流作用影响。因此,应充分重视水工建筑物中基土和土料性质特殊规律的研究。

土力学课程属技术基础课,它在一般基础课和专业课之间起着承上启下的作用。它必要的先行课程有:材料力学、结构力学、弹性理论初步;工程地质和水文地质学;水力学等。它的主要后续课程是:水工结构。实际上所有水工建筑物的勘测、设计、施工和运行管理都不能缺少土力学的基本知识。

土力学又是一门边缘性学科,它所涉及的自然科学范围很广。除了和力学领域内各邻近学科(如弹性理论、塑性理论、流变理论和地下水动力学等)有密切关系之外,它还牵涉到普通地质学、土质学、物理化学等方面的知识领域。

第三节 土力学的发展简介

土力学是一门既古老、又新兴的学科。由于生产的发展和生活上的需要,人类很早就懂得广泛利用土进行工程建设。如我国公元前两世纪开始修建的万里长城和公元六世纪开通的南北大运河等宏伟工程,以及外国古代所修造的不少具有历史性的巨型建筑物,都证

实了人类在工程实践中积累了丰富的土力学知识，但由于受到当时生产实践规模和知识水平的限制，直到十八世纪中叶，人们对土在工程建设方面的特性，尚停留在感性认识阶段。

十八世纪产业革命以后，水利、道路、城市建设工程中大型建筑物的兴建，提出了大量与土力学有关的问题和不少成功的经验，特别是一些工程事故的教训，迫切地促使人们去寻求理论的解释，并要求用经过实践检验的理论来指导以后的工程实践。例如：十七世纪末叶，欧洲各国大规模的城堡建设，推动了筑城学的发展，其中城墙背后土压力的问题引起了建设者的注意，许多工程技术人员发表了多种土压力计算公式，为库伦(Coulomb, C.A. 1773)提出著名的土的抗剪强度和土压力理论公式打下了基础。十九世纪中叶开始，大规模的桥梁、铁路和公路建设推动了桩工和深基础的理论和施工方法的发展。铁路和公路的路堑和路堤、运河渠道边坡、水坝的建设更迫切需要解决土坡稳定计算方法问题。总之，十八世纪中叶到十九世纪末，人们对土的强度、变形性能以及渗流三大问题作了某些个别理论的探讨，并作了某些基础工程问题的研究。但由于当时生产力和科学水平的限制，以及研究者受形而上学自然观的束缚与影响，土力学还只停留在半经验分析的阶段，尚未形成一门完整系统的学科。

二十世纪初期以来，随着生产建设的深度与广度的不断增大，遇到的工程地质条件也更复杂，促使人们全面地又系统地対土的力学性质作理论和实践的研究。地基勘探和土工试验技术的发展，现场观测资料的不断丰富，其它科学技术的新成就都对土力学的发展提供了非常有利的条件。与此同时，世界上不少国家纷纷成立专门性的土工研究机构，对若干挡土结构的破坏和路堤的坍方等具普遍性的工程事故，作了重点调查勘探和试验工作，对土的工程性质，地基基础的设计施工进行了深入的研究。及至本世纪二十年代，著名土力学家太沙基(Terzaghi, K. 1925)的《土力学》专著问世，土力学方始成为一门独立的较系统而完整的学科。自1936年以来，已召开了十一届国际土力学和基础工程学术会议。许多国家已定期出版多种土工杂志刊物。应该指出：近四十年来，由于尖端科学、生产(包括军工)发展的需要，土力学的研究领域又有了明显的扩大。如土动力学、冻土力学、海洋土力学、月球土力学等都是新兴的土力学分支，岩石力学也已与土力学分离而单独成为一门学科。当前，超高型的土坝和土石坝，巨型的土中洞库和管道，连续浇注地下墙和软土上高层建筑下的巨型基础、海洋石油采钻平台下的巨型基础等工程建设，推动着土力学向更高、更深的水平发展。

我国古代劳动人民在长期与大自然作斗争的实践中，积累了丰富的科学知识，其中也包括了土力学的知识。如两千多年前，我国四川省就广泛采用泥浆钻探法开凿盐井，对保护孔壁提供了宝贵经验。沿用至今的堤坝质量钎探检查方法，证明我国首先应用了触探技术。黄土地区遍布的窑洞和陡峻路堑的修建，也证明我国古代劳动人民早就掌握了黄土的工程特性。我国一些传统的加固地基和路面压实(或夯实)的方法与工具(如夯木、片碇等)至今还有使用。我国古代巨型建筑物中所用的料石基垫、灰土地基都有其科学根据。无数城堡、运河和沟渠工程建设中都曾解决了大量的土压力和土坡稳定问题。数千年来我国主要江河的堤坝防洪抢险工程中，曾积累了许多符合科学原理的反压土台、封土桩、倒

滤层、减压井和截水齿墙等有效土工措施。

新中国的成立，为解放我国生产力和促进我国科学技术的发展开辟了一条广阔的道路，也使土力学学科得到了迅速的发展，在勘探和现场观测的技术、土的物理力学性质研究、地基基础以及土工建筑物的设计与施工等方面，都取得了显著成绩。例如：对全国各地的特殊土类（如西北、华北的黄土，东北、西北及西藏的冻土，西南、中南的红粘土，华东沿海地区的软土淤泥以及散布在全国不少省分的胀缩土、分散性土等）都进行了大量的勘探试验研究和调查总结工作，积累了大量资料，制订了一些切实可行的条例和规程。对地基的强度与变形，软粘土的流变性质和固结理论、砂土振动液化、土的本构特性以及深基础设计等方面的理论研究，都获得了不少有价值的成果。松软土地基上建闸筑坝、采用砂井预压加固、砂垫层、砂基深层爆炸振密、防渗墙、强夯法和振冲法、旋喷法、搅拌法等各种地基处理措施，以及采用新型基础和土工建筑物（如扩底桩基础、薄壳基础、反拱底板式闸基、地下连续墙、加筋挡土墙）都取得了一定经验。土坝水闸等的设计水平，也随着我国土力学学科的发展而不断提高。电子计算机技术和有限元法在土工方面的推广运用，使土力学理论与实践的结合产生了新的飞跃。新的勘探试验仪器与日俱增，如静力和动力触探，现场孔隙水压力仪、测斜仪、土体内部和建筑结构内部以及界面上的应力应变传感器、采用近代物理技术测定土的物理性质、用地震法及其它物理方法勘探地基的新技术不断推广。在国家建委直接领导下，各基建部门深入工程实践，认真总结经验，已制订了我国自己的各类基建工程的地基设计规范TJ7-74。我国土木工程学会土力学和基础工程学会主持制定了《土力学及基础工程名词》（简称《土工名词》）。我国水利电力部主持制定了《土工试验规程》SDS01-79。

我们坚信,在为实现我国四个现代化的过程中,我国的土力学学科也必将会有更快的发展。

第二章 土的物理性质及工程分类

第一节 概 述

土是各种矿物颗粒的集合体，在天然状态下，一般为三相系，即土系由固体颗粒，水和空气三相所组成。三者之间的相互作用以及它们之间的比例关系，反映出土的物理性质与构造的物理状态指标，可用以对土进行分类和鉴定。同时，这些指标又都与土的力学性质发生联系。

地壳表层的岩石长期受自然界的风化作用，因而使大块岩体不断地破碎与分解，再经搬运、堆积而成为大小、形状和成分都不相同的松散颗粒集合体——土。

物理风化只能引起岩块的机械破碎，其产物基本上保持与母岩相同的成分，称为原生矿物，如石英、长石和云母等。砂、砾石和其它粗粒的土，主要是物理风化的产物。化学风化则使岩石发生质变。改变其原来岩石矿物成分，形成了次生矿物。各种组成粘性土的粘土矿物（蒙脱石、伊里石和高岭石等）都属次生矿物。生物风化则系动物和植物的活动对岩石的破坏。这三种风化作用往往是同时或相互交替地进行的。在自然界中，土是从岩体经过长期风化作用而逐渐形成的自然产物。因此，对土的工程性质评价时，必须重视土的形成历史、环境及存在条件对土性的影响。

大部分的土都是岩石风化的产物，通常称为无机土。但在自然界中常有动植物残骸的有机质混入土中，由于有机质易于分解变质，故土中含有过量的有机质时，对土的物理力学性质将起不利影响。因而在工程中，常对所用土料的有机质含量提出一定的限制。

第二节 土的三相组成和土的结构

一、土的三相组成

前面已指出，土是由固体、液体和气体三相组成的松散颗粒集合体。固体部分即为土粒，由矿物颗粒或有机质组成，构成土的骨架。骨架之间有许多孔隙，而孔隙可为液体或气体或二者所填充。水及其溶解物为土中的液相；空气及其它一些气体为土中的气相。如土中孔隙全部为水所充满时，称为饱和土；如孔隙全部为气体所充满时，称为干土；如孔隙中同时存在水和空气时，称为湿土。饱和土和干土都是二相系。湿土为三相系。这些组成部分的相互作用和它们在数量上的比例关系，将决定土的物理力学性质。

二、土的固相

土的固相是由土粒构成的骨架部分，土粒的尺寸、形状、矿物成分以及大小搭配情况对土的工程性质有明显的影晌，对粗粒土说来，尤其是这样。

（一）土粒粒组

颗粒大小和矿物成分的不同,可使土具有不同的性质。例如颗粒粗大的卵石、砾石和砂,大多数为浑圆和棱角状的石英颗粒,具有较大的透水性,不具粘性。颗粒细小的粘粒,则是针状或片状的粘土矿物,具有粘性,透水性较低。实际上很难对土粒逐粒测量它的大小,常常把土在性质上表现出明显差异的分界粒径^①作为划分粒组的依据。所谓粒组是指相邻两分界粒径之间性质相近的土粒。在自然界中,任何一种土常是由多种粒组所组成的。表2-2-1是我国现用的粒组分界,表中列出了各种粒组的范围和相应的特性。

表 2-2-1 土 粒 大 小 分 组

粒 组 名 称			分 界 粒 径 mm	主 要 特 性
漂 石 块 石			300	
卵 石 碎 石			60	
粗 粒 组	砾	粗	20	透水性大,无粘性,毛细管水上升高度很小,不能保持水分
		中	5.0	
		细	2.0	
	砂 粒	粗	0.5	无粘性,易透水,毛细管水上升高度不大,无可塑性
		中	0.25	
		细	0.10	
细 粒 组	极 细		0.05	透水性很小,湿润时有微粘性,毛细管水上升高度较大,在水中易悬浮
	粉 粒		0.005	
	粘 粒			透水性极微,有可塑性和粘性,其性质随含水量有很大变化

按土粒从大到小,将分成如表2-2-1所列各粒组。各国对分界粒径的划分不尽相同。每一粒组具有相近的特性。

(二) 土粒分析方法

实际上土常常是多种不同粒组的混合物,显然,土的性质取决于各不同粒组的相对含量。为了确定各粒组相对含量,必须用试验方法(称颗粒分析试验)将各粒组区分开来。在工程实践中,最常用的颗粒分析试验方法有筛分法和比重计法两种。

筛分法适用于粒径大于0.1mm的土。它用一套孔径不同的筛子,从上到下,筛孔逐渐减小,将事先称过重量的干土样过筛。称出留存在各筛上的土粒重,然后标出这些土粒重占总土粒重的百分数。比重计法适用于粒径小于0.1mm的土。其法系将少量细粒土放入水中,大小不同的土粒在水中下沉的速度各不相同,大粒下沉快而小粒下沉慢,利用比重计测定不同时间土粒和水混合悬液的密度,就可以计算出某一粒径的土粒对总土粒重的百分数。如土中同时含有粒径大于和小于0.1mm的土粒时,则须联合使用上述两种方法,

① 粗粒土的粒径用土粒所能通过的最小筛孔尺寸表示。细粒土的粒径则为土粒的水力当量直径。

这时的试验结果，如图2-2-1的下表所示。颗粒分析试验的具体作法可参阅我国水利电力部《土工试验规程》SDS01-79（以下简称《79规程》）。

（三）土粒的级配

土中各种粒组的相对含量，用土粒总重的百分数表示，称为土粒的级配。图2-2-1的表中最下两行就是表示土粒级配，但为了直观起见，常以图2-2-1的粒径分布曲线来表示。曲线的纵坐标为小于某粒径土粒的累积重量，横坐标则用对数尺度表示土的粒径。采用这种横坐标可以把粒径相差上千倍的粗、细粒含量都表示出来，尤其能把占总重量小，但对土的性质可能有重要影响的微小土粒部分清楚地表达出来。

从土的粒径分布曲线上可以看出：

（1）粒组范围及各粒组含量 如图2-2-1的曲线上，可以查得各粒组占总土粒含量分别为：砾粒3.2%、砂粒71.8%、粉粒13.3%、粘粒11.7%。

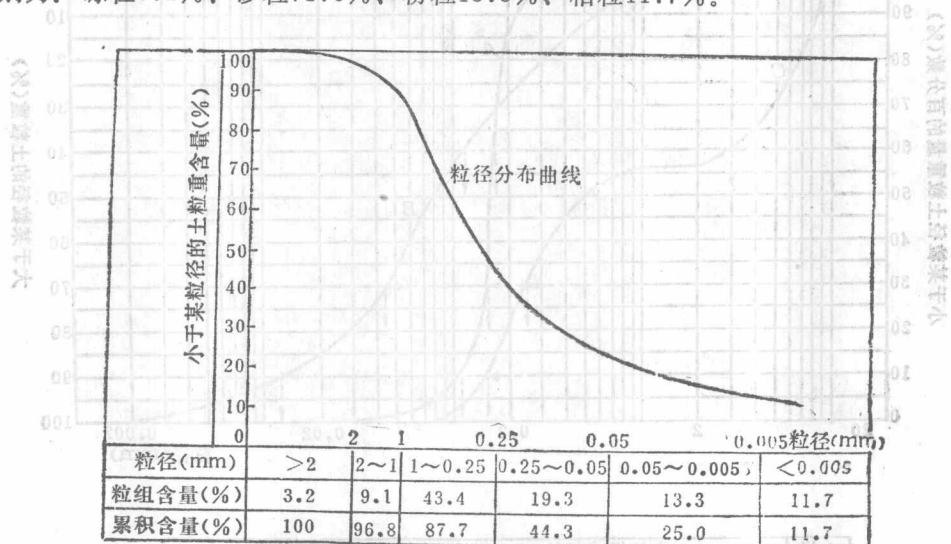


图 2-2-1 土的粒组含量及粒径分布曲线

（2）土粒分布情况 图2-2-2曲线A及B所代表的两种土的颗粒大小分布都是连续的，曲线坡度是渐变的，这样的级配称为连续级配或正常级配。曲线C所代表的土则缺乏某些粒径的土粒，曲线出现水平段，这样的级配称为不连续级配。与曲线A比较，曲线B形状平缓，土粒大小分布范围广，表示土粒大小不均匀，因而各级粒组级配良好。曲线A形状较陡，土粒大小分布范围窄，表示土粒均匀，各级粒组级配不良。为了判别土粒级配是否良好，常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_o 两个指标来分别描述粒径曲线的坡度和形状。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2-2-1)$$

$$C_o = \frac{(d_{30})^2}{d_{60}d_{10}} \quad (2-2-2)$$

式中 d_{60} 、 d_{10} 、 d_{30} ——分别为粒径曲线纵坐标上小于某粒径含量60%、10%、30%时所对应的粒径； d_{10} 称为有效粒径； d_{60} 称为控制粒径。

不均匀系数 C_u 反映曲线的坡度，表明土粒大小的不均匀程度。 C_u 值愈大，表明粒径分布曲线的坡度愈缓，土粒大小愈不均匀；反之 C_u 值愈小，表明曲线愈陡，土粒大小均匀。工程上常按经验把 $C_u \leq 5$ 的土称匀粒土；而把 $C_u > 5$ 的土则称非匀粒土。曲率系数 C_c 反映粒径曲线的形状，当 $C_c = 1 \sim 3$ 时表明土粒大小的连续性较好，或土粒大小之间有一定的变化规律。因此，要满足级配良好的要求，除土粒大小必须不均匀外，还要求符合曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 的条件。例如曲线C，虽然粒径分布曲线很平缓，其 C_u 值达到20，这只能说明这种土的土粒不均匀性很大，但由于其土粒大小不连续（出现缺粒段，如粒径为1.0~2.0mm的含量为零）， C_c 值仅为0.14，因而仍不能称为级配良好。所以，在工程上，对土级配是否良好的判定规定如下：

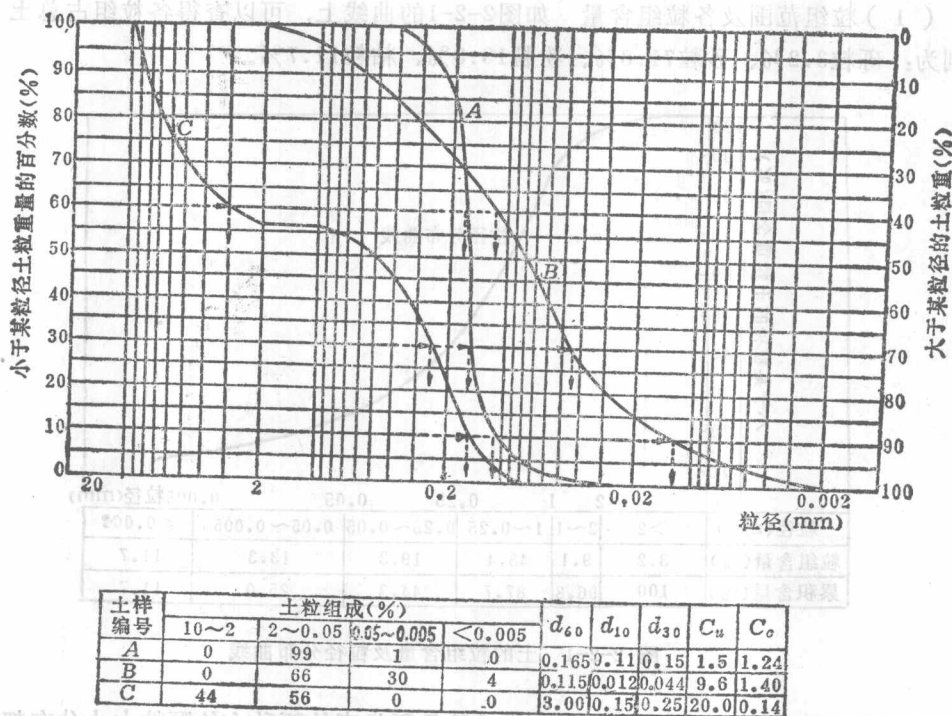


图 2-2-2 几种土的粒径分布曲线

①. 级配良好的土，这种土一般来说，多数粒径分布曲线主段呈光滑凹面向上的型式，坡度较缓，土粒大小连续，曲线平顺且粒径之间有一定的变化规律，能同时满足 $C_u > 5$ 及 $C_c = 1 \sim 3$ 的条件，如图2-2-2中B线所示。

②. 级配不良的土，土粒大小比较均匀，即曲线坡度较陡的土，或虽然较不均匀，但土粒大小不连续的，此时粒径分布曲线呈阶梯状（有缺粒段），这类土都属级配不良的土，即它不能同时满足 $C_u > 5$ 及 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件，如图2-2-2中的A、C线所示。

【例 2-2-1】 如图2-2-2所示A、B、C表示三种不同粒径组成的土。试求每种土中的砾石、砂粒、粉粒及粘粒等粒组的含量各为多少？它们的不均匀系数 C_u 及曲率系数 C_c 又各为多少？并对各曲线所反映的土的级配特性加以分析。

【解】⑥ 按曲线A得知

砂粒占 $100 - 1 = 99 (\%)$

粉粒占 $1 (\%)$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.165}{0.110} = 1.5 < 5$$

土粒大小级配均匀

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60}d_{10}} = \frac{(0.15)^2}{0.165 \times 0.11} = 1.24 \text{ 在 } 1 \sim 3 \text{ 之间}$$

虽然 C_c 在 $1 \sim 3$ 之间, 但曲线坡度 $C_u < 5$, 故为级配不良的土。

⑦ 按曲线B得知

砂粒占 $100 (\%) - 34 (\%) = 66 (\%)$;

粉粒占 $34 (\%) - 4 (\%) = 30 (\%)$;

粘粒占 $4 (\%)$ 。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.115}{0.012} = 9.6 > 5$$

土粒大小不均匀

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60}d_{10}} = \frac{(0.044)^2}{0.115 \times 0.012} = 1.4 \text{ 在 } 1 \sim 3 \text{ 之间}$$

由于 C_u 及 C_c 都同时满足条件, 故为级配良好的土。

⑧ 按曲线C得知

砾占 $100 (\%) - 56 (\%) = 44 (\%)$;

砂粒占 $56 (\%)$ 。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{3}{0.15} = 20 > 5$$

土粒大小不均匀

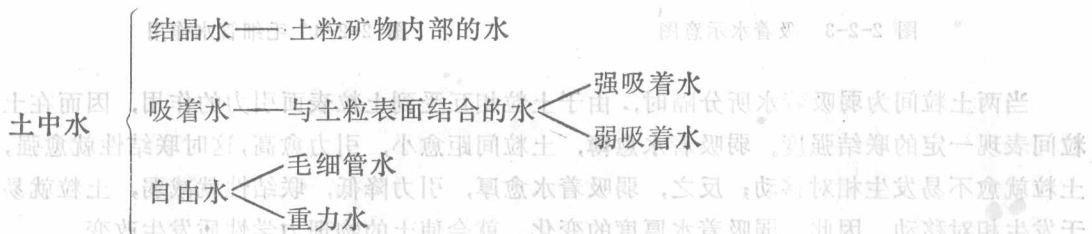
$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} = \frac{(0.25)^2}{3 \times 0.15} = 0.14 \text{ 不在 } 1 \sim 3 \text{ 之间}$$

虽然 $C_u > 5$, 但因缺乏中间粒径, C_c 不在 $1 \sim 3$ 之间故也为级配不良的土。

三、土的液相

土的液相是水及各种离子的溶液, 其含量及性质明显地影响土(尤其是粘性土)的性质, 如增加粘性土的水分, 可使土的状态由坚硬变为可塑, 直至成为流动状态的土浆。

土中水可分为下列各类:



1. 结晶水

存在于矿物结晶中的水, 只有在高温 ($>105^\circ\text{C}$) 下, 才能使之从矿物中析出, 故可把它视作矿物本身的一部分。

2. 吸着水

吸着水是指附着于土粒表面成薄膜状的水，受土粒表面引力的作用而不服从静水力学规律，其冰点低于零度。

粘土矿物颗粒具有较强的与水相互作用的能力，称为亲水性。实验证明，这种亲水性的土粒表面常带负电荷，电荷大小直接与土粒表面积大小有关。常用比表面（单位体积土的土粒总表面积）来表示电荷对土粒性能的相对影响。比表面越大，电荷的作用就越强。土粒表面的负电荷吸引着周围极化了的水分子，如图2-2-3（a）所示。从图2-2-3（b）中看出，在靠近土粒表面的地方引力最大，土粒外围的水分子和离子被吸引在土粒表面附近，排列得十分紧密，失去了常见水的某些特性。例如有些资料指出，这层水的密度大于 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ ，冰点可达零下几十度，通常把最靠近土颗粒表面的一层水称为强吸着水。土粒表面的引力随离开土粒表面的距离的增大而迅速降低。距土粒表面稍远的地方，水分子虽仍较为定向排列，但不如强吸着水那么紧密和严格。因此，这种水有可能由水膜较厚处缓慢地迁移到水膜较薄的地方；也就是有可能从一个土粒迁移到另一个土粒上去，这种运动与重力无关。这层水不能传递静水压力，称为弱吸着水。

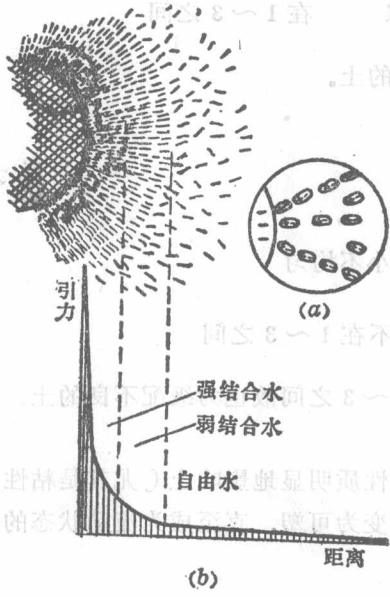


图 2-2-3 吸着水示意图

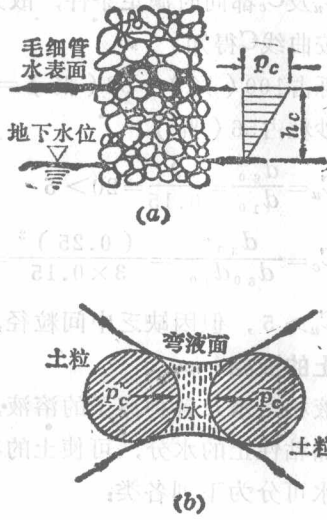


图 2-2-4 毛细管水作用

当两土粒间为弱吸着水所分隔时，由于土粒相互受到土粒表面引力的作用，因而在土粒间表现一定的联结强度。弱吸着水愈薄，土粒间距愈小，引力愈高，这时联结性就愈强，土粒就愈不易发生相对移动；反之，弱吸着水愈厚，引力降低，联结性就减弱，土粒就易于发生相对移动。因此，弱吸着水厚度的变化，就会使土的物理力学性质发生改变。

3. 自由水

自由水是指在土粒表面引力作用范围以外的水。它与普通水无异，受重力支配，能传递静水压力并具有溶解能力。自由水包括毛细管水及重力水两种。

（1）毛细管水 土中存在着很多大小不同的孔隙，这些孔隙又连成细小的通道（毛