



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学与基础工程

陈晓平 主编

Higher Education



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学与基础工程

陈晓平 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，系统阐述了土力学的基本理论、建筑物常用基础类型的设计与分析方法、地基处理技术等，适当介绍了一些设计新理念和新方法，教材中的符号、术语和计量单位均依照新的国家规范，各章附有例题、思考题和习题。

全书共分14章，包括：绪论，土的物理性质及工程分类，土的渗透性，土中应力，土的压缩性和地基沉降计算，土的抗剪强度，土压力及挡土墙，地基承载力和土坡稳定，天然地基上浅基础设计，连续基础，桩基础与其他深基础，软土地基处理，基坑工程，特殊土地基等。

本书可作为高等院校土木与水利工程专业及相关专业的教学用书，也可作为相应专业工程设计人员、研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与基础工程 / 陈晓平主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 5084 - 5892 - 2

I. 土… II. 陈… III. ①土力学—高等学校—教材②基础(工程)—高等学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第143039号

书 名	普通高等教育“十一五”国家级规划教材 土力学与基础工程
作 者	陈晓平 主编
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266(总机)、68367658(营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 23.25印张 551千字
版 次	2008年12月第1版 2008年12月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

“土力学与基础工程”是土木工程、水利工程等专业的必修课，也是其他一些工科专业的选修课。目前有两种课程设置模式：一是将“土力学”与“基础工程”作为前后两门课程；另一种是将“土力学与基础工程”或“土力学与地基基础”作为一门课程。两种课程设置所涉及到的内容差别并不太大，但在内容的详略上有所不同，本教材力图兼顾此两种课程设置模式。

土力学是用力学的基本原理和土工测试技术，研究土体的工程性质和在力系作用下的反应，是强烈依赖于实践的科学；基础工程是以土力学作为理论基础，研究地面以下与岩土材料有密切联系的工程的设计、施工与管理，是土力学的后继课程。因此，本教材的重要特点之一就是尽可能地体现理论与实践的结合。但由于该学科远不是一门已经具有严密理论体系的学科，所以本教材还给出必要的工程实例和思考空间，以培养学生的兴趣，发掘专业潜质。

本教材于2006年经教育部批准列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在参阅大量有关文献的基础上，确定了以土力学的基本理论为核心，以常规基础工程设计和地基处理技术为重要内容，考虑学科发展水平以适当介绍目前尚处于初步应用阶段的设计新理念和新技术的编写原则，并对基础工程设计中一些不可回避的问题，如上部结构与地基基础的共同作用、深基坑支护工程计算与分析等进行了专门阐述。本教材中的符号、术语和计量单位均依照新的国家规范，各章相互衔接，前后一致，并附有例题、思考题和习题。

本教材共分14章，其编写人员及分工如下：绪论、第1~6章由暨南大学陈晓平编写；第7、12章由广东工业大学张建龙编写；第8、11章由暨南大学胡辉编写；第9章由暨南大学陈晓平、华南理工大学潘健编写；第10章由武汉大学傅旭东编写；第13章由福州大学刘毓川编写；第1~6章思考题和习题由暨南大学吴起星编写。本教材由陈晓平统稿、修改和定稿。

在写作方法上本教材充分考虑了本科教学的特点和需要，力求线条清晰，

理论准确、简洁，便于讲解，并与工程技术规范保持一致。限于水平，书中难免有不当之处，敬请读者和同行专家不吝指正。

编者

2008年7月

目录

前言

绪论	1
0.1 土力学与基础工程概念	1
0.2 学科的重要性	2
0.3 学科的发展简史	3
0.4 学科的特点及课程学习要求	4
第1章 土的物理性质及工程分类	6
1.1 土的组成	6
1.2 土的结构和构造	10
1.3 土的物理性质指标	12
1.4 土的物理状态指标	17
1.5 土的压实性	21
1.6 土的工程分类	24
思考题	29
习题	29
第2章 土的渗透性	31
2.1 渗透规律	31
2.2 渗透试验及渗透系数	32
2.3 土中二维渗流及流网	38
2.4 渗透破坏及工程控制	41
思考题	46
习题	47
第3章 土中应力	48
3.1 自重应力	48
3.2 基底压力	51
3.3 地基附加应力	55
3.4 地基中附加应力的有关问题	67
思考题	69

习题	69
第 4 章 土的压缩性和地基沉降计算	71
4.1 土的压缩性	71
4.2 基础最终沉降量	76
4.3 地基变形与时间的关系	91
4.4 利用沉降观测资料推算后期沉降量	100
思考题	101
习题	101
第 5 章 土的抗剪强度	104
5.1 土的抗剪强度理论	104
5.2 土的抗剪强度试验	108
5.3 饱和黏性土的剪切性状	116
5.4 砂土的剪切性状	122
思考题	123
习题	123
第 6 章 土压力及挡土墙	125
6.1 挡土墙侧土压力	125
6.2 朗肯土压力理论	127
6.3 库仑土压力理论	134
6.4 土压力计算方法讨论	142
6.5 挡土墙设计	144
6.6 土工合成材料加筋挡墙	149
思考题	151
习题	151
第 7 章 地基承载力和土坡稳定	152
7.1 地基的破坏模式	152
7.2 临界荷载	153
7.3 地基极限承载力	157
7.4 无黏性土坡的稳定性	164
7.5 黏性土坡的稳定性	167
思考题	180
习题	181
第 8 章 天然地基上浅基础设计	182
8.1 浅基础的基本类型	182
8.2 浅基础的设计原则	185
8.3 地基设计	187

8.4	无筋扩展基础设计	199
8.5	钢筋混凝土扩展基础设计	203
8.6	减少不均匀沉降危害的措施	211
	思考题	214
	习题	214
第9章	连续基础	216
9.1	上部结构与地基基础共同作用的概念	216
9.2	连续基础共同作用分析方法	218
9.3	柱下条形基础	228
9.4	柱下交叉条形基础	231
9.5	筏形基础与箱形基础	234
	思考题	241
	习题	241
第10章	桩基础与其他深基础	243
10.1	桩基础的特点及分类	243
10.2	竖向荷载下的单桩工作性状及单桩竖向承载力计算	246
10.3	竖向荷载作用下的群桩工作性状及计算	253
10.4	水平荷载作用下的桩基工作性状及计算	257
10.5	竖向荷载下的桩基础设计	265
10.6	其他深基础	275
	思考题	282
	习题	282
第11章	软土地基处理	284
11.1	软土地基的性质及处理技术分类	284
11.2	排水固结法	286
11.3	复合地基法	296
11.4	强夯法与动力固结法	306
11.5	其他处理技术	310
	思考题	312
	习题	313
第12章	基坑工程	314
12.1	支护结构的型式及适用条件	314
12.2	支护结构上的荷载计算	316
12.3	支护结构的计算与分析	319
12.4	基坑的稳定性分析	330
12.5	地下水控制	333
12.6	深基坑工程的施工与监测	335

思考题	337
习题	338
第 13 章 特殊土地基	339
13.1 膨胀土地基	339
13.2 湿陷性黄土地基	343
13.3 红黏土地基	348
13.4 岩溶与土洞	349
13.5 多年冻土地基	353
13.6 地震区地基	355
思考题	360
习题	360
参考文献	362

绪 论

0.1 土力学与基础工程概念

土力学是研究土体应力、变形、强度和渗流等特性及其规律的一门学科，即用力学的基本原理和土工测试技术研究土体的工程性质和在力系作用下土体性状的学科。土力学学科可以被认为是力学学科的一个分支，但由于土是具有复杂性质的天然材料，所以在运用土力学理论解决各类土工问题时，尚不能像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式，而必须借助经验、试验辅以理论计算。所以，土力学是一门强烈依赖于实践的学科。

基础工程包括地基与基础，是以土力学作为学科理论基础，研究地面以下工程的设计、计算、施工、管理，该类工程的重要特点是与岩土材料有密切联系：或以岩土作为支撑（地基），或以岩土作为环境介质（地下空间），或以岩土作为建筑材料（堤坝），因而其分析方法既基于结构工程，又显著区别于上部结构，既要考虑其结构的特性，又要注意与其土（岩）的相互作用。基础工程与土力学互为理论与应用。

土是地壳岩石经受强烈风化的天然历史产物，是各种矿物颗粒的集合体。土由固体颗粒、水和空气三相组成，可分为无黏性土和黏性土，前者颗粒间互不联结、完全松散，后者颗粒间虽有联结、但联结强度远小于颗粒本身强度。土与其他连续固体介质相区别的最主要特征就是其多孔性和散体性，由此导致了土体的一系列物理特性和力学特性。另外，由于自然地理环境和沉积条件的区域性特征，还形成了一些具有特殊性质的土。

土层承担建筑物荷载之后其内部应力状态会发生变化，工程上把受建筑物影响其应力发生变化从而引起物理、力学性质发生可感变化的那一部分土层称为地基。当地基由两层以上土层组成时，通常将直接与基础接触的土层称为持力层，其下的土层称为下卧层。基础结构则是指建筑物向地基传递荷载的下部结构，起着传递荷载的作用。基础工程包括地基与基础结构，以及一些与岩土体有关的工程技术问题。

基础有多种型式，但从分类上，可以把相对埋深（基础埋深与基础宽度之比）不大，采用一般方法与设备施工的基础称为浅基础；而把基础埋深超过某一值，且需借助于特殊的施工方法才能将建筑物荷载传递到地表以下较深土（岩）层的基础称为深基础。如果天然土层可以直接作为建筑物地基，就称其为天然地基，而需经人工加固处理后才能作为建筑物地基的则称为人工地基。

建筑物的上部结构、基础与地基三部分功能各异，工作于不同环境，通过之间的联系构成了一个既相互制约又共同工作的整体，合理的分析方法应同时考虑各接触点的静力平

衡和变形协调。

0.2 学科的重要性

土力学与基础工程包括土力学理论和基础工程设计两大部分。

土的种类繁多,力学特性与工程性质都十分复杂,并具有不可忽视的离散性和不确定性。基础工程位于地面以下,系隐蔽工程,一旦发生质量事故,补救和处理往往非常困难,甚至完全不可能补救。因此,土力学与基础工程学科的最大特点是有较多的不知及不可知,学科的发展基于不断的发现与验证,发展过程更多的是实践先于理论。

本门学科的重要性可以通过建筑史上若干工程的质量事故来说明。

意大利比萨斜塔,始建于1174年,竣工于1370年,高约55m,是建筑物倾斜的典型实例。该塔在建筑过程中即因地基原因造成塔身倾斜而两次停工,建成之后一直以斜塔的形式成为史上最珍贵的文物之一。据记载,几世纪以来为了保持其斜而不倒的身姿,对地基和塔身进行了多次加固,采用的方法包括卸荷处理、防水灌浆、堆载反压、塔基下横向取土、基础加固等,所积累的成功经验和失败教训对土力学理论与实践有重要的意义。

中国苏州虎丘塔,落成于961年,高约47.5m,由于地基非均匀沉降导致塔身严重倾斜并开裂。至20世纪80年代开始对其进行地基加固,采用了桩排式地下连续墙围箍、钻孔注浆、树根桩基础加固的方法。

中国上海展览中心,开工于1954年,中央大厅采用框架结构、箱形基础,埋深7.27m。由于地基为高压缩性淤泥质黏土,厚约14m,所以建成当年就下沉60cm,1979年9月测得平均沉降量达160cm。由于沉降差过大,导致中央大厅与两翼展览馆部分连接断裂,影响了工程的正常使用。

加拿大特朗斯康谷仓,建于1941年,上部结构由65个圆柱形筒仓组成,高约31m,平面尺寸为59.4m×23.5m,采用筏板基础。建成后初次储存谷物便造成西侧突然下陷8.8m,东侧抬高1.5m,仓身倾斜27°。事后发现事故原因是由于基础下埋藏有厚达16m的软黏土层,储存谷物使基底平均压力达330kPa,超过了地基的极限承载力(280kPa),因而地基发生强度破坏而产生整体滑动,造成建筑物失稳。事后为修复筒仓,在基础下设置了70多个支承于基岩的混凝土墩,使用了388只500kN的千斤顶,才逐渐将倾斜的筒仓扶正,但修复后的位置比原来降低了4m。

大量工程事故说明,建筑物发生的事故很多与基础问题有关,涉及土力学理论和基础工程设计。没有地基及基础的安全稳定,任何土木工程都是难以保证其正常使用或安全稳定的。

学科重要性的另一个体现是其造价和施工工期在建筑总造价和总工期中所占的比例,虽然这一比例与多种因素有关,包括上部结构型式和层数、基础结构型式、地质条件、环境条件等,但就目前的建筑规模而言,都会占到一个相当大的比例。如对钢筋混凝土结构和一般地质条件,采用箱型基础或筏基的多层建筑,其基础工程的费用约占建筑总费用的20%,高的可达30%,相应的施工工期约占建筑总工期的20%~25%,一般桩基础与之相近,有的稍高。对于高层建筑,其地基基础工程设计要求和施工中的技术难度均会进一

步提高。

随着经济建设的发展和人均土地资源的有限,充分利用各种不良地基、不占或少占耕地、最大限度地提高土地利用效率,都将使土力学与基础工程在社会发展中占有越来越重要的地位,并对本门学科提出了越来越高的要求。

0.3 学科的发展简史

土力学与基础工程学科的发展远不如其他经典力学,但作为一门工程技术,却有着悠久的历史,古代许多宏伟工程的成功实施和长久使用,都从技术水平上体现了这门应用学科的理论与实践。

下述几个古典理论被认为是土力学理论的重要组成。

1773年,法国学者库仑(Coulomb)根据砂土试验成果建立了砂土的抗剪强度公式,根据刚滑动楔体理论提出了计算挡土墙背填土压力的计算方法。

1855年,法国学者达西(Darcy)根据试验创立了土的层流渗透定律。

1857年,英国学者朗肯(Rankine)发表了挡土墙土压力塑性平衡理论。

1885年,法国学者布辛奈斯克(Boussinesq)求导了弹性半空间表面竖向集中力作用时的应力、应变理论解答。

上述古典理论对于本学科的建立和发展起了很大的推进作用,一直被沿用至今。20世纪20年代后,有关研究有了较快的发展,其重要理论包括1915年由瑞典彼得森(Petterson)首先提出、后由费兰纽斯(Fellenius)等人进一步发展的土坡稳定分析的整体圆弧滑动面法,以及1920年由法国学者普朗德尔(Prandtl)提出的地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式。1925年,奥裔美国学者太沙基(Terzaghi)出版了第一部专著《土力学》(*Erdbaumechanik*),比较系统地阐述了土的工程性质和有关的土工试验成果,所提出的有效应力原理和固结理论将土的应力、变形、强度、时间等有机联系,使之能有效地解决一系列土工问题。太沙基专著的问世,标志着近代土力学的开始,使得土力学成为一门独立的学科。1948年,太沙基与佩克(R. Peck)出版了《工程实用土力学》(*Soil Mechanics in Engineering Practice*),该书在土力学理论的基础上,将理论与测试技术和工程经验密切结合,不仅推动了土力学和基础工程作为一门工程学科的发展,而且强调了该门学科中实践的重要地位。

基于土力学理论的基础工程有更悠久的历史,以深基础为例,1981年在智利的蒙特维尔德附近的森林里发现一间支承在木桩上的木屋,据美国肯塔基大学的考古学家的考证,该桩基至今已有12000~14000年的历史。其他特殊深基础如沉井、沉箱和地下连续墙等也有很长的应用历史。据考证,1738年瑞士工程师查尔斯·拉贝雷(Charles Labeleye)在伦敦泰晤士河上建造桥梁时就采用了80英尺长、30英尺宽、16英尺深的木沉井,沉井在岸上制作,然后利用潮水拖运到位并下沉,沉井顶面设计标高高于最低潮位,以利用低潮时抽干井内水,砌筑块石桥墩。1850年又创造出气压沉箱,以达到更大的埋置深度和提供更大的承载力。历史上有许多著名的建筑物是采用气压沉箱建造的,如1869~1872年在美国纽约修建的布鲁克林大桥(Brooklyn Bridge)基础,1885年法国巴

黎修建的艾菲尔铁塔基础，以及1901年在纽约修建的摩天大楼（Sky-scraper）基础等。

我国最早的桩基础发现于浙江省河姆渡的原始社会居住遗址中，大约出土了占地约4万 m^2 的木结构遗存，其中有数百根尺寸不等的圆桩和方桩，是迄今为止发现的规模最大的木桩遗层，经考古测定，该处浅层和深层文化层大约分别距今6000年和7000年。另外，从北宋一直保存到现在的上海市龙华镇龙华塔（977年重建）和山西省太原市晋祠圣母殿（建于1023~1031年）都是我国现存的采用桩基的古建筑。另外，古代黄河上的“沉梢”和“沉排”的方法，即将树枝扎成捆编成筏排，抛填块石压沉到河底来护岸、护底和筑坝，被认为是沉井沉箱基础的雏形；1894年竣工的由詹天佑主持修建的天津滦河大桥是我国最早采用沉箱基础的成功实例；20世纪30年代，由茅以升设计的钱塘江大桥的正桥15个桥墩均采用了沉箱施工。

20世纪70年代以后，随着现代科技成就在该领域的逐步渗透，试验技术和计算手段都有了长足进步，由此将更多的未知变成了已知或正在成为已知，在理论方面，一些标志性的研究成果，如：土的非线性应力—应变关系、考虑土的各种特性的本构模型、土与结构物共同作用特性、土的非饱和特性、土的剪胀特性、土的加工硬化和软化特性、土的动力特性等，使得土力学理论逐渐成为一门包罗丰富的现代力学学科。在基础工程应用技术方面，各类工程的兴建，如：超高层建筑物、复杂的高速公路路基、大和特大桥梁基础、地质条件和水文条件极为特殊的水利工程等，使得原有的工程技术不断被改进和发展，由此极大地推动了基础工程的发展，特别是在桩工技术、建筑物抗震技术、深大基坑开挖和支护技术、软弱土及特殊土处理技术、土工合成材料应用技术等方面取得了令人关注的成就。

第一届国际土力学及基础工程会议于1936年在美国召开，之后陆续召开了17届。中国土木工程学会于1957年设立了土力学及基础工程委员会，并于1978年成立了土力学及基础工程学会。1962年在天津召开了第一届全国土力学及基础工程学术会议，之后至1994年共召开了七届，第八届开始改名为土力学及岩土工程学术会议，至2007年召开了第十届。由于中国地域广大且土质多样，加之中国建筑行业的持续多年不衰，使得中国成为经济发展中涉及土力学与基础工程学科最深、最广、最多的国家，通过在土木、水利、道桥、港口等有关工程中逐一解决大量复杂的问题，为该门学科积累了丰富的理论和工程经验。

由于土的性质复杂，土力学与基础工程还远没有成为具有严密理论体系的学科，需要不断的实践和研究。

0.4 学科的特点及课程学习要求

土力学与基础工程的特点之一是理论性和实践性均较强。传统的理论构成了学科的基本框架，不同的工程需求决定了学科本身是一门实用的学问。由于形成地基土的各异的自然条件造成了土体性质的千差万别，不同地区的土有不同的特性，即使是同一地区的土，其特性在水平方向和深度方向也可能存在较大的差异。所以，不可能用某些统一的数学或力学模型来描述土的特性、解决各种不同的实际问题。一个最优的基础工程设计方案不

仅需要设计与分析理论的正确,从某种意义上来说,更依赖于完整的地基土资料和工程经验。所以,经验的提炼和力学理论的借鉴,永远是该学科的重要部分和发展基础。

该学科的另一特点是知识更新周期较短。随着与之有关的建设行业的迅速发展,该学科不断面临新的问题,如基础型式的创新、地下空间的开发、软土地基的处理、新的土工合成材料的应用等,从而导致新的技术、新的设计方法不断涌现,且往往是实践促使理论不断丰富和完善。

根据学科特点,本课程的学习要求是:了解课程性质;掌握土的基本物理性质和力学特性;掌握土的物理指标、土的压缩指标、土的抗剪强度指标的常规试验理论与操作技术;掌握一般土工建筑物的计算理论和方法;能分析和解决基础工程的基本问题。

除绪论外,本教材共分13章。

第1章土的物理性质及工程分类是本课程的基础知识,要求了解土的组成,掌握土的物理性质指标的定义及有关测试方法,掌握三相比例指标的换算关系,熟悉土的分类方法。

第2~5章是本课程的重要理论部分,其中第2章土的渗透性要求掌握土的渗透规律、渗透指标的测试方法及影响因素,渗透破坏的控制;第3章土中应力要求掌握土中自重应力、地基附加压力、地基附加应力的概念及计算方法;第4章土的压缩性和地基沉降计算要求掌握土的压缩指标及测定方法、应力历史对土的压缩性的影响、地基沉降计算方法、饱和土的有效应力原理和单向固结理论;第5章土的抗剪强度要求掌握土的抗剪强度规律、抗剪强度指标的测试、抗剪强度指标选用、应力历史等对抗剪强度的影响。

第6~7章是运用土力学理论解决工程中的基本问题,其中第6章土压力及挡土墙要求了解挡土结构类型及作用于挡土墙的土压力的产生条件,掌握各种情况下土压力的计算方法和挡土墙设计的基本方法,了解新型挡土墙结构特点和应用前景;第7章地基承载力、和土坡稳定要求了解地基破坏模式,掌握土的极限平衡原理和条件,掌握临界荷载和地基承载力的确定方法,掌握土坡稳定分析方法。

第8~10章为常见基础工程类型的设计与分析,其中第8章天然地基上浅基础设计要求能够根据现行规范进行浅基础的选型、布置及基本设计;第9章连续基础要求建立上部结构与地基基础共同作用的概念,掌握Winkler地基模型,了解连续基础的分析方法;第10章桩基础和其他深基础要求了解桩的类型,掌握竖向荷载单桩的承载性状及承载力的计算方法,了解竖向荷载群桩的工作性状和水平荷载桩的计算方法,掌握桩基础设计方法,了解其他深基础分析方法。

第11~13章为运用土工原理对土体进行改良、加固、支挡的设计与分析,其中第11章软土地基处理要求掌握地基处理的基本方法及适用条件,了解地基处理的某些新技术及应用前景;第12章基坑工程要求掌握现行规范中列出的常规基坑支护结构上作用的土压力的计算,了解各支护型式的设计方法;第13章特殊土地基要求对不同于一般土类的特殊土的性质有较好了解,并了解针对其特征应该采取的工程措施。

本课程与工程地质、水力学、结构力学、建筑材料、施工技术等学科有密切关系,涉及学科领域广,综合性强,建议在学习本课程时既要注意与其他学科的联系和本课程的前后联系,又要注意紧紧抓住土体的强度和变形这一核心问题,根据土与结构物共同作用特性来分析和处理基础工程问题。

第 1 章 土的物理性质及工程分类

土是地壳表层岩石经受自然界风化、剥蚀、搬运、沉积的产物，是大小、形状和成分都不相同的各种矿物颗粒的集合体。在天然状态下，土是由固体、液体和气体三部分所组成的三相体系。固体部分由矿物颗粒或有机质组成，构成土的骨架。骨架间有许多孔隙，可为水、气所填充。若土中孔隙全部为水所充满时，称为饱和土；若孔隙全部为气体所充满时，称为干土；若孔隙同时有水和空气存在时，称为非饱和土。土体三个组成部分本身的性质以及它们之间的比例关系和相互作用即为土的物理性质，可以反映出土的不同特性，并可据此对土进行分类和鉴定。同时，土的物理性质指标又都与土的力学性质发生联系，并在一定程度上决定着土的工程性质。

本章主要讲述土的组成、土的结构与构造、土的基本物理性质指标及有关特征，以及土的工程分类。

1.1 土的组成

1.1.1 土中固体颗粒

土中固体颗粒即为土的固相，其大小、形状、矿物成分以及大小搭配情况对土的物理力学性质有明显影响。

1. 土的颗粒级配

土的颗粒大小称为粒度，通常用粒径表示。工程上将各种不同的土粒按其粒径范围划分为若干粒组，各粒组随着分界尺寸的不同呈现出一定质的变化。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。表 1-1 为国内常用的土粒粒组界限划分标准及各粒组的主要特征。表中根据《土的分类标准》(GBJ 145—90)，以界限粒径 200mm、60mm、2mm、0.075mm、0.005mm 把土粒分为六大粒组：漂石(块石)、卵石(碎石)、圆砾(角砾)、砂粒、粉粒和黏粒。

为了表示天然土体中土粒的大小及组成情况，通常以土中各个粒组的相对含量(即各粒组占土粒总量的百分数)来表示，称为土的颗粒级配。

确定各粒组相对含量的方法称为颗粒分析试验，有筛分法、密度计法和移液管法。筛分法适用于粒径小于等于 60mm、大于 0.075mm 的粗粒组，密度计法和移液管法适用于粒径小于 0.075mm 的细粒组。当土中粗细兼有时，则可联合使用筛分法和密度计法或筛分法和移液管法。

筛分法试验是将事先称过质量的风干、分散的代表性土样通过一套从上至下孔径逐渐减小的标准筛，称出留在各筛上的土质量，然后计算占总土粒质量的百分数。

密度计法和移液管法都属于沉降分析法，适用于粒径小于 0.075mm 的试样，此类方

1.1 土的组成

表 1-1 土粒粒组的划分

粒组统称	粒组名称		粒径范围 (mm)	一般特征
巨粒	漂石或块石颗粒		>200	透水性很大, 无黏性, 无毛细水
	卵石或碎石颗粒		200~60	
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	60~20	透水性大, 无黏性; 毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	20~5	
		细	5~2	
	砂粒	粗	2~0.5	
中		0.5~0.25		
细		0.25~0.1		
极细	0.1~0.075			
细粒	粉粒	粗	0.075~0.01	透水性小, 湿时稍有黏性, 遇水膨胀小, 干时稍有收缩; 毛细水上升高度较大较快, 极易出现冻胀现象
		细	0.01~0.005	
	黏粒		<0.005	透水性很小, 湿时有黏性、可塑性, 遇水膨胀大, 干时收缩显著; 毛细水上升高度大, 但速度较慢

- 注 1. 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状 (圆形或亚圆形); 块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。
 2. 粉粒或称粉土粒, 粉粒的粒径上限 0.075mm 相当于 200 号标准筛的孔径。
 3. 黏粒或称黏土粒, 黏粒的粒径上限也有采用 0.002mm 的。

法根据球状细颗粒在水中下沉速度与颗粒直径的平方成正比原理, 把颗粒按其在水中的下沉速度进行粗细分组。在实验室内具体操作时, 是利用比重计或移液管法测定不同时间土粒和水混合悬液的密度, 据此计算出某一粒径土粒占总土粒质量的百分数。

根据颗粒分析试验结果, 可绘制如图 1-1 所示的颗粒级配曲线。图中纵坐标表示小于某粒径的土粒含量百分比, 横坐标表示土粒的粒径, 以 mm 表示。由于土体中所含粒组的粒径往往相差很大, 而细粒土的含量对土的性质影响显著, 因此, 为了清楚表示细粒土含量, 通常将粒径的坐标取为对数坐标。

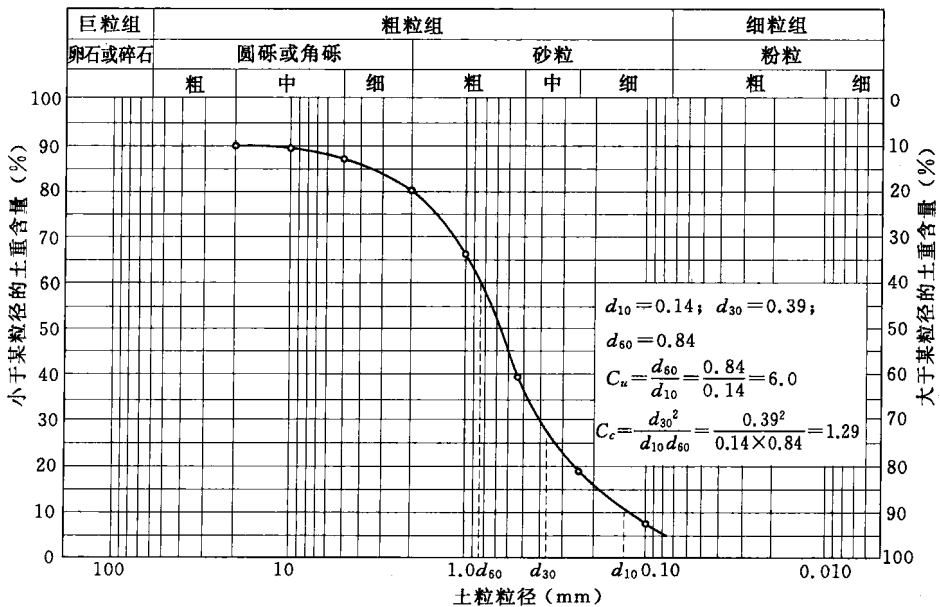


图 1-1 颗粒级配曲线

由颗粒级配曲线可求得各粒组的相对含量,如图1-1所示土样,砂粒占73%,中细砾粒占10%。

图1-1中级配曲线的坡度和曲率是判断土的级配状况的重要依据。如曲线平缓、分布宽,表示土粒大小不均,级配良好;反之则表示颗粒粒径相差不大,粒径较均匀,级配不良。

为了定量反映土的不均匀性,工程上常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 来描述颗粒级配情况,其计算式为

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

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}} \quad (1-2)$$

式中: d_{60} 为限定粒径、 d_{10} 为有效粒径,分别表示土中小于某粒径的土的质量占土的总质量的60%、10%时对应的粒径; d_{30} 为中值粒径,表示小于某粒径的土粒质量累计百分数为30%时对应的粒径。

不均匀系数 C_u 反映不同粒组的分布情况,对于级配连续的土, C_u 越大,表示土粒越不均匀。工程上把 $C_u < 5$ 的土视为级配不良的土; $C_u > 10$ 的土视为级配良好的土。

曲率系数 C_c 反映级配曲线的整体形状,对于级配不连续的土,采用单一指标 C_u 不能准确判定土的级配情况,需参考曲率系数值。一般认为,砾类土或砂类土同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,则定名为良好级配砾(砂)。

级配良好的土,较粗颗粒间的孔隙可以被较细的颗粒所填充,因而土的密实度较好。

2. 土粒的矿物成分

土中固体颗粒的矿物成分包括矿物质和少量有机质。

土粒的矿物成分取决于母岩的矿物成分及风化作用,可分为原生矿物和次生矿物。原生矿物颗粒由原岩经物理风化形成,其成分与母岩相同,常见的有石英、长石和云母等。这种矿物成分的物理化学性质较稳定,由其组成的粗粒土具有无黏性、透水性较大、压缩性较低的特征。次生矿物是岩石经化学风化后所形成的新矿物,其成分与母岩不相同,土中的次生矿物主要是黏土矿物,如高岭石、伊利石和蒙脱石等。次生矿物性质较不稳定,具有较强的亲水性,遇水易膨胀,是细粒土具有塑性特征的主要因素之一,对土的工程性质有很大影响。

土中有机质一般是混合物,与组成土粒的其他成分结合在一起,根据其分解程度可分为未分解的动植物残体、半分解的泥炭和完全分解的腐殖质。有机质的多少和存在方式对土的工程性质有明显影响。

1.1.2 土中水

土中水即为土的液相,可以根据存在环境处于液态、固态或气态。土中水含量及性质明显地影响土的工程性质(尤其是黏性土)。

土中水除了一部分以结晶水的形式紧紧吸附于固体颗粒的晶格内部外,存在于土中的液态水可分为结合水和自由水两大类。

1. 结合水

结合水是指受电分子引力吸附于土粒表面成薄膜状的水。根据受电场作用力的大小及