

● 教、学、做一体化教材

国家示范院校重点建设专业

给排水工程技术专业课程改革系列教材

地基与基础

◎ 主 编 祝冰青 朱宝胜 曲恒绪
◎ 主 审 满广生 曹先富



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

● 教、学、做一体化教材

国家示范院校重点建设专业

给排水工程技术专业课程改革系列教材

地基与基础

◎ 主 编 祝冰青 朱宝胜 曲恒绪

◎ 主 审 满广生 曹先富



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材为国家示范院校重点建设专业——给排水工程技术专业课程改革系列教材之一，是本着高职高专教育的特色，依据国家示范建设专业人才培养方案和课程建设的目标和要求，按照校企专家多次研究讨论后制定的课程标准进行编写。全书共分6个项目，内容包括：工程土的识别、土的力学性能基本知识、土工试验、工程地质勘察、地基处理、基础工程。内容范围广泛，实用性强。

本教材可作为给排水工程技术专业的教学用书，也可作为土建类相关专业和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目（C I P）数据

地基与基础 / 祝冰青, 朱宝胜, 曲恒绪主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2010.3

(国家示范院校重点建设专业、给排水工程技术专业课程改革系列教材)

ISBN 978-7-5084-7296-6

I. ①地… II. ①祝… ②朱… ③曲… III. ①地基—高等学校: 技术学校—教材②基础(工程)—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039574号

书 名	国家示范院校重点建设专业 给排水工程技术专业课程改革系列教材 地基与基础
作 者	主编 祝冰青 朱宝胜 曲恒绪 主审 满广生 曹先富
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 10.75印张 261千字
版 次	2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	22.00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

本教材是依据国家示范院校重点建设专业——给排水工程技术专业的人才培养方案和课程建设目标要求，并按照国家颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)等有关设计新规范、新标准进行编写的。

本专业的课程改革是以工作过程为导向，以项目为载体进行的。人才培养方案和课程重构建设方案由校企等多方面的专家经过多次研讨论证形成。根据课程教学基本要求，按照以学习情境代替学科为框架体系的编排结构，在教材风格上形成理论与实践相结合的鲜明特色。与以往教材对比，本教材理论知识本着适度的原则，注意针对性和实用性，强调基本概念、基本原理和基本方法，着重和突出学生实际能力的培养。本教材由 6 个项目组成，每个项目都附有一定的例题，以便学生自学。

本教材由安徽水利水电职业技术学院祝冰青、朱宝胜、曲恒绪任主编，安徽水利水电职业技术学院满广生副教授和安徽省建设工程勘察院曹先富高工任主审。其中：祝冰青编写项目 1、项目 2、项目 5，朱宝胜编写项目 4、项目 6，曲恒绪编写绪论、项目 3。

本教材在编写过程中，得到了安徽省建设工程勘察院和安徽省建材工业设计院的大力支持，有关院校及单位的同行也提出了许多宝贵意见和热情协助，在此一并表示感谢。限于作者水平，书中难免存在欠妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2010 年 1 月

前言

绪论	1
项目 1 工程土的识别	4
情境 1.1 土的成因与组成	4
1.1.1 土的成因	4
1.1.2 土的组成	5
情境 1.2 土的物理性质指标	8
1.2.1 土的三相图	8
1.2.2 三项基本物理性质指标	9
1.2.3 反映土密实程度的指标	9
1.2.4 反映土中含水程度的指标	10
1.2.5 反映几种不同状态下的重度	10
1.2.6 各项物理性质指标之间的换算	10
情境 1.3 土的物理状态指标	11
1.3.1 无黏性土的密实度	11
1.3.2 黏性土的物理状态	12
情境 1.4 土的工程分类与识别	14
1.4.1 土的工程分类	14
学习小结	17
能力训练题	17
项目 2 土的力学性能基本知识	18
情境 2.1 地基中的应力分布	18
2.1.1 土体的自重应力	18
2.1.2 基底压力	21
2.1.3 基底附加压力	23
2.1.4 地基附加应力	24
情境 2.2 土的压缩与地基变形	29
2.2.1 基本概念	29
2.2.2 压缩试验及压缩性指标	29
2.2.3 静荷载试验和变形模量	31

2.2.4	地基变形的类型	33
2.2.5	地基最终沉降量计算	34
2.2.6	建筑物沉降观测	39
情境 2.3	土的抗剪强度与地基承载力	40
2.3.1	土的抗剪强度	40
2.3.2	库仑定律	41
2.3.3	莫尔—库仑强度理论	42
2.3.4	抗剪强度的试验方法	44
2.3.5	地基的破坏形式与地基承载力	48
2.3.6	地基承载力的确定	50
情境 2.4	土的渗透性与渗透变形	55
2.4.1	土的渗透性	55
2.4.2	渗透变形	55
学习小结		56
能力训练题		56
项目 3	土工试验	57
情境 3.1	密度试验（环刀法）	57
情境 3.2	含水率试验（烘干法）	58
情境 3.3	界限含水率试验（液限、塑限联合测定法）	59
情境 3.4	击实试验	61
情境 3.5	固结试验（快速法）	63
情境 3.6	直接剪切试验（快剪法）	65
学习小结		67
项目 4	工程地质勘察	68
情境 4.1	工程地质概述	68
4.1.1	岩土工程勘察的原则	68
4.1.2	岩土工程勘察阶段的划分	68
4.1.3	岩土工程勘察分级	69
4.1.4	岩土工程勘察的基本程序	70
情境 4.2	地基勘察的目的与内容	70
4.2.1	地基勘察的目的	70
4.2.2	地基勘察的内容	71
4.2.3	工程地质测绘与调查	73
情境 4.3	地基勘察方法	73
4.3.1	地基勘察方法	73
4.3.2	载荷试验	75
4.3.3	旁压试验	78
4.3.4	静力触探试验	80

4.3.5	标准贯入试验	81
4.3.6	岩土工程评价	81
4.3.7	测试工作及试验成果整理	86
情境 4.4	地基勘察报告的阅读	88
4.4.1	地基勘察报告的编制	88
4.4.2	地基勘察报告的阅读	89
4.4.3	地基勘察方案的设计实例	89
情境 4.5	验槽与基槽的局部处理	90
4.5.1	验槽工作	91
4.5.2	验槽中地基的处理	91
4.5.3	验槽过程的注意事项	93
学习小结		93
能力训练题		93
项目 5	地基处理	94
情境 5.1	概述	94
情境 5.2	不良地基的工程特性	96
5.2.1	软土的成因及划分	96
5.2.2	软土主要工程特性	97
5.2.3	不良地基土	97
5.2.4	人工填土	98
情境 5.3	地基处理的方法	98
5.3.1	机械压实法	98
5.3.2	换土垫层法	99
5.3.3	排水固结法	103
5.3.4	挤(振)密法	107
5.3.5	夯(压)实法	110
5.3.6	振冲法	113
5.3.7	化学加固法	115
5.3.8	土工合成材料加筋法	120
5.3.9	土工合成材料在应用中的问题	121
5.3.10	复合地基理论	122
学习小结		126
能力训练题		126
项目 6	基础工程	127
情境 6.1	基础类型	127
6.1.1	概述	127
6.1.2	建筑地基基础设计的基本要求	128
6.1.3	浅基础设计所需的资料 and 主要内容	129

6.1.4	浅基础的分类	129
情境 6.2	基础的选择原则	133
6.2.1	基础方案的比较与选用	133
6.2.2	建筑基础埋置深度的选择	133
6.2.3	桥涵基础埋深的选择	138
情境 6.3	基础的结构与构造	139
6.3.1	按地基持力层的承载力计算基底尺寸	139
6.3.2	地基变形特征	142
6.3.3	减小不均匀沉降危害的措施	143
6.3.4	地基基础的稳定性演算范围	146
6.3.5	基础设计实例构造要求	146
情境 6.4	基础施工图的阅读	152
6.4.1	基础的分类	152
6.4.2	基础图的组成	153
6.4.3	基础图实例	154
学习小结		160
能力训练题		160
参考文献		161

绪 论

1. 土力学、地基与基础的概念

土是地壳岩石经过物理、化学、生物等风化作用的产物，是各种矿物颗粒组成的松散集合体，是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系。土从大类上可以分成颗粒间互不连接、完全松散的无黏性土和颗粒间虽有连接，但连接强度远小于颗粒本身强度的黏性土。土的最主要特点是它的松散性和三相组成。

土力学是运用力学的基本原理和土工测试技术来研究土的应力、变形、强度、渗透和稳定性等力学问题的学科，是地基基础研究的理论依据。由于土和其他材料的区别，所以土力学是借助于试验、经验并辅以理论的科学。在本领域的学习中，土力学的内容包括工程土的识别和土的力学性能基本知识。

土层受到荷载的作用后，其原来的应力状态就会发生变化，使土层产生附加应力和变形，并随着深度增加向四周土中扩散并逐渐减弱。我们把因承受建筑物荷载而发生应力变化的土层称为地基，把埋入土层一定深度的建筑物向地基传递荷载的下部承重结构称为基础。地基属于地层，是支承建筑物荷载的那一部分土层；而基础是建筑物的一部分，是把建筑物荷载传给地基的建筑物的下部结构。由于土的压缩性比其他建筑材料大得多，我们通常把建筑物与土层接触部分的断面尺寸适当扩大，以减小接触部分的压强。

地基具有一定的埋深与范围，我们把直接与基础接触的那部分土层称为持力层，把持力层以下的土层或岩层叫做下卧层，如图 0.1 所示，承载力低于持力层的下卧层称为软弱下卧层。

良好的地基一般应具有较高的承载力与较低的压缩性，以满足地基基础设计的两个基本条件（强度与变形）。软弱地基的工程性质差，需经过人工地基处理才能达到设计要求。我们把不需处理而直接利用的天然土层的地基称为天然地基，把经过人工处理才能作为地基的称为人工地基。人工地基的造价高、施工难度大，因此建筑物一般宜建造在良好的天然地基上。

作为地基的地层无论是土或岩石，均是自然界的产物。由于自然环境和条件的复杂性，决定了天然地层在成分、性质、分布和构造上的多样性。除了一般的土类和构造形态之外，还有许多特殊的土类和不良地质现象。在建筑物设计之前，必须进行工程地质勘察和评价，充分了解地层的成因和构造，分析岩土的工程特性，提供设计计算参数。这是搞好地基基础工程设计与施工的前提。

基础是建筑结构的重要受力构件，上部结构所承受的荷载都要通过基础传至地基。地基与基础对建筑结构的重要性是显而易见的，它们埋在地下，一旦发

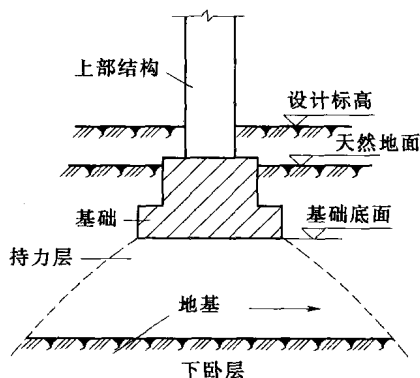


图 0.1 地基、基础示意图



生质量事故,不仅开始时难以察觉,其修补工作也要比上部结构困难得多,事故后果又往往是灾难性的,实际上建筑结构事故绝大多数是由地基和基础引起的。基础是建筑结构的一部分,和上部结构相同,基础应有足够的强度、刚度和耐久性。基础虽然有很多种型式,但可概括为两大类,即浅基础和深基础。深、浅基础没有一个明确的分界线,一般将埋置深度不大、只需开挖基坑及排水等普通施工工艺建造的基础称为浅基础;反之,埋置深度较大,需借助于特殊的施工方法建造的基础称为深基础。本教材研究与建筑结构的地基基础设计有关的主要问题。包括土的工程性质及地基计算、常用基础的类型与选用、浅基础设计等基本内容。

2. 本课程的重要性及学习要求

地基与基础是结构物的根本,由于位于地面以下,属于地下隐蔽工程。它的勘察、设计以及施工质量的好坏,直接影响结构物的安全。国内外的各种建筑物都有不少关于地基基础的破坏例子,有的是因为不均匀沉降,有的是因为地基强度不够而引起上部结构发生严重裂缝或整个建筑物严重倾斜甚至倒塌。由于地基基础一旦出现问题,往往补救相当困难,因此对于搞好市政工程建设,必须掌握本课程的知识。

对于给排水工程结构,为保证其水密性和不渗漏,对地基变形和地下水的影响应引起足够的重视,在一般情况下,给水排水工程结构承受的荷载比工业与民用建筑的荷载小很多,地基承载力的要求容易得到满足,但给水排水工程结构是一些储水、输水构筑物,结构的水密性显得十分重要,因而结果对地基的不均匀变形特别敏感;水池底板因不均匀沉降出现裂缝将导致水池漏水等。因此,要求大面积基础均匀沉降,要求不同结构的地基协调变形是给水排水工程结构地基基础设计时应特别注意的问题。

本领域的学习学生应重点掌握地基土的物理性质及土力学的基本知识,能结合给排水工程结构及施工技术知识进行一般给排水工程地基基础的设计。初步掌握地基的常用处理方法。

3. 本学科发展简介

早在几千年以前,人类就懂得利用土进行建设。我国西安市半坡村新石器时代遗址,发现的土台和石础,就是古代的地基基础。公元前2世纪修建的万里长城,后来修建的南北大运河、黄河大堤以及宏伟的宫殿、寺院、宝塔等都有坚固的地基基础,经历地震强风考验,留存至今。隋朝修建的赵州安济石拱桥,由一孔石拱独跨洹河,净跨37.02m。主拱肩部设置4个小拱,节省材料,减轻桥身自重,造型美观。拱桥采取纵向并列砌筑法,28道拱圈自成一体,桥宽达8.4m,桥上可以行车。桥台落在粉土天然地基上,基底压力约500~600kPa,1300多年来,沉降与位移甚微,至今安然无恙。989年建造开封开宝寺木塔时,预见塔基土质不均会引起不均匀沉降,施工时特意做成倾斜,待沉降稳定后,塔身正好垂直。四川采用泥浆护壁钻探法打盐井,西北地区在黄土中建窑洞,以及在建筑中用料石基垫、灰土地基等,证明我国人民在长期实践中,积累了有关土力学地基基础的极其宝贵的知识与经验。

18世纪产业革命后,城市建设、水利、道路的兴建推动了土力学的发展。1773年法国库仑根据试验,创立了著名的土的抗剪强度公式和土压力理论。1857年英国朗肯通过不同假定,提出另一种土压力理论。1885年法国布辛内斯克求得半无限弹性体在垂直集中力作用下,应力和变形的理论解答。1922年瑞典费伦纽斯为解决铁路塌方,研究出土



坡稳定分析法。这些理论与方法，至今仍在广泛应用。1925 年美国土力学家太沙基发表土力学专著，使土力学成为一门独立的学科。1936 年以来，已召开了十一届国际土力学和基础工程会议，提出了大量论文、研究报告和技术资料。很多国家定期出版土工杂志。世界各地也都召开了类似的专业会，总结和交流本学科的研究成果。

新中国成立 30 多年来，为适应我国社会主义建设的需要，土力学地基基础学科有了迅速的发展。全国各地有关生产、科研单位和高等院校总结实践经验，开展现场测试、室内试验和理论研究。自 1962 年全国第一届土力学及基础工程学术会议后，于 1987 年召开第五届会议，全国各地代表 200 多人出席，交流论文 300 多篇。不少专家学者对土力学理论作出了宝贵的贡献。如全国土力学及基础工程学会前理事长、清华大学黄文熙教授，早在 1957 年就研究提出了非均质地基考虑土侧向变形影响的沉降计算方法，并于 20 世纪 60 年代初研制成功了第一台振动三轴仪，发表了砂土液化理论。

近年来，世界各国高土坝（坝高大于 200m）高层建筑与核电站等巨型工程的兴建和多次强烈地震的发生，促使土力学进一步发展。有关单位积极研究土的本构关系、土的弹塑性与黏弹性理论和土的动力特性。

项目1 工程土的识别

学习目标

(1) 通过本学习项目的学习能了解土的成因，土的三相比比例不同和结构上的差异对土的工程性质的影响。

(2) 能理解土的级配及颗粒的粒度成分和根据《建筑地基基础设计规范》、《公路桥涵地基与基础设计规范》确定地基土的命名、分类。

(3) 掌握土的物理性质指标的意义表达式，换算关系和物理性质指标的试验确定方法。

情境1.1 土的成因与组成

1.1.1 土的成因

1.1.1.1 土的生成

地球表面 30~80km 厚的范围称为地壳，地壳中原来是整体坚硬的岩石，经风化、剥蚀、搬运、沉积，形成固体矿物、水和气体的集合体称为土。

不同的风化作用，形成不同性质的土。风化作用有下列三种：

(1) 物理风化。岩石受风、霜、雨、雪的侵蚀，温度、湿度变化，不均匀膨胀与收缩，使岩石产生裂隙，崩解为碎块。这种风化作用，只改变颗粒的大小与形状，不改变矿物成分，称为物理风化。由物理风化生成的为粗颗粒土，如碎石、卵石、砾石、砂土等，呈松散状态，总称无黏性土。

(2) 化学风化。岩石碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质接触，使岩石碎屑发生化学变化，改变了原来组成矿物的成分，产生一种新的成分——次生矿物，土的颗粒变得很细，具有黏结力，如黏性土、粉质黏土，总称为黏性土。

(3) 生物风化。由于动、植物和人类活动对岩体的破坏，称生物风化。例如开山、打隧道等活动形成的土，其矿物成分没有变化。

1.1.1.2 土的结构和构造

1. 土的结构

土颗粒之间的相互排列和联结形式，称为土的结构，有下列三种：

(1) 单粒结构。粗颗粒土，如卵石、砂等，在沉积过程中，每一个颗粒在自重作用下，单独下沉，达到稳定状态，如图 1.1 (a)、(b) 所示。松散的单粒结构是不稳定的，在荷载作用下变形较大；密实的单粒结构是良好的天然地基。

(2) 蜂窝结构。当土颗粒较细（粒径为 0.002~0.02mm），在水中单个下沉，碰到已沉积的土粒，由于土粒之间的分子引力大于颗粒自重，则下沉土粒被吸引不再下沉，形成很大孔隙的蜂窝状结构，如图 1.1 (c) 所示。

(3) 絮状结构。粒径小于 0.005mm 的黏土颗粒，在水中长期悬浮并在水中运动时，



形成小链环状的土集粒而下沉。这种小链环碰到另一小链环被吸引，形成大链环状的絮状结构。此种结构在海积黏土中常有，如图 1.1 (d) 所示。

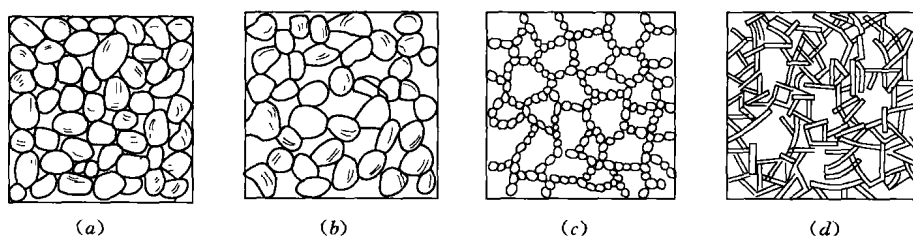


图 1.1 土的结构

上述三种结构中，以密实的单粒结构土的工程性质最好，蜂窝结构其次，絮状结构最差。后两种结构土，如因扰动破坏天然结构，则强度低、压缩性大，不可用作天然地基。

2. 土的构造

同一土层中，土颗粒之间相互关系的特征称为土的构造，常见的有下列几种：

(1) 层状构造。土层由不同颜色、不同粒径的土组成层理，平原地区的层理通常为水平方向。层状构造是细粒土的一个重要特征。

(2) 分散构造。土层中土粒分布均匀，性质相近，如砂、卵石层为分散构造。

(3) 结核状构造。在细粒土中掺有粗颗粒或各种结核，如含礓石的亚黏土、含砾石的冰渍等均属结核状构造，其工程性质取决于细粒土部分。

(4) 裂隙状构造。土体中有很多不连续的小裂隙，有的硬塑与坚硬状态的黏土为此种构造。裂隙强度低、渗透性高、工程性质差。

1.1.1.3 土的特性

土与其他连续介质材料相比，具有下列三个特性：

(1) 压缩性大。反映压缩性大小的指标弹性模量（土称变形模量），随材料不同而有很大差别。例如：钢筋， $E=2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ ；C20 混凝土， $E=2.6 \times 10^4 \text{ MPa}$ ；卵石， $E=40 \sim 50 \text{ MPa}$ ；饱和细砂， $E=8 \sim 16 \text{ MPa}$ 。

当应力与材料厚度相同时，饱和细砂的压缩性比 C20 混凝土大 1600 倍。黏性土压缩性往往比饱和细砂还要大。

(2) 强度低。土的强度指抗剪强度。无黏性土的强度主要为土粒表面粗糙不平的摩擦力，黏性土还有黏聚力。摩擦力与黏聚力远远小于建筑材料本身的强度。因此，土的强度比其他建筑材料低得多。

(3) 透水性大。由于土体中固体矿物颗粒之间具有无数的孔隙，孔隙是透水的，因此土的透水性很大。尤其是粗颗粒的无黏性土，如卵石透水性极大。

1.1.2 土的组成

土由固体颗粒、液体水和气体三部分组成，称为土的三相组成。土体的固体颗粒构成骨架，骨架之间贯穿着孔隙，孔隙中充填着水和空气。同一地点的土体，它的三相组成是否固定不变？不是。随着环境的变化，例如天气的晴雨、季节变化、温度高低、地下水的升降，以及建造建筑物施加的荷重等，都会引起土体三相比例的变化。土体三相比例不同，土的状态和工程性质也不相同。例如：固体+气体（液体=0）为干土，干黏土坚硬，



干砂松散；固体+液体+气体为湿土，湿的黏土多为可塑状态；固体+液体（气体=0）为饱和土，饱和粉细砂受震动可能产生液化；饱和黏土地基沉降需很长时间才能稳定。

由此可见，研究土的工程性质，首先从最基本的、组成土的三相，即固体、水和气体本身开始研究。

1.1.2.1 土中固体颗粒

土的三相组成中，土的固体颗粒是决定土的工程性质的主要成分。

1. 土粒的矿物成分

(1) 原生矿物。由岩石经物理风化而成，其成分与母岩相同。包括：

1) 单矿物颗粒。如常见的石英、长石、云母、角闪石与辉石等，砂土为单矿物颗粒。

2) 多矿物颗粒。母岩碎屑，如漂石、卵石与砾石等颗粒为多矿物颗粒。

(2) 次生矿物。岩屑经化学风化而成，其成分与母岩不同，为一种新矿物，颗粒细。主要的是黏土矿物，其粒径很细， $d < 0.005\text{mm}$ ，肉眼看不清，用电子显微镜观察为鳞片状。

黏土矿物的微观结构由两种原子层（晶片）构成：一种是由 Si-Q 四面体构成的硅氧晶片，另一种由 Al-OH 八面体构成的铝氢氧晶片。因这两种晶片结合的情况不同，形成三种黏土矿物：

1) 蒙脱石。两结构单元之间没有氢键，联结弱，水分子可以进入两晶胞之间。因此，蒙脱石亲水性大，胀缩性剧烈。

2) 伊利石（水云母）。部分四面体中的 Si 为铝、铁所取代，损失的原子价由阳离子钾补偿。因而晶格层组之间具结合力，亲水性低于蒙脱石。

3) 高岭石。晶胞之间有氢键，联结力较强，晶胞之间距离不易改变，水分子不能进入。因此，亲水性最小。

次生矿物还有次生二氧化硅、难溶盐等。

(3) 腐殖质。土中腐殖质含量多，使土的压缩性增大。对有机质含量大于 3%~5% 的土，应加注明，不宜作为填筑材料。

2. 粒组的划分

自然界的土都是由大小不同的土粒所组成的，土的粒径发生变化，其主要性质也相应发生变化。例如土的粒径从大到小，则可塑性从无到有；黏性从无到有；透水性从大到小；毛细水从无到有。工程上将各种不同的粒径按其粒径范围，划分为若干粒组，见表 1.1。

表 1.1 土粒粒组的划分

粒组统称	粒组名称	粒径范围 (mm)	一般特性
巨粒	漂石（块石）粒	$d > 200$	透水性很大，无黏性，无毛细水
	卵石（碎石）粒	$60 < d \leq 200$	
粗粒	砾粒	粗粒 $20 < d \leq 60$	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
		细粒 $2 < d \leq 20$	
	砂粒	$0.075 < d \leq 2$	易透水，无黏性，遇水不膨胀，干燥时松散，毛细水上升高度不大
细粒	粉粒	$0.005 < d \leq 0.075$	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，易冻胀
	黏粒	$d \leq 0.005$	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，但速度慢



3. 土的颗粒级配

土的颗粒级配是指大小土粒的搭配情况，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。

天然土常常是不同粒组的混合物，其性质主要取决于不同粒组的相对含量。为了了解其颗粒级配情况，就需进行颗粒分析试验，工程上常用的方法有筛分法和密度计法两种。《土的分类标准》（GBJ 145—90）规定：筛分法适用于粒径为 0.075~60mm 的土。它用一套孔径不同的标准筛，按从上至下筛孔逐渐减小放置，将称过重量的烘干土样放入，经筛析机振动将土粒分开，称出留在各筛上的土重，即可求出占土粒总重的百分数；密度计法适用于粒径小于 0.075mm 的土，根据粒径不同，在水中下沉的速度也不同的特性，用密度计进行测定分析。

将试验结果绘制颗粒级配曲线如图 1.2 所示。图中纵坐标表示小于（或大于）某粒径的土粒含量百分比；横坐标表示土粒的粒径，由于土体中粒径往往相差很大，为清楚表示，将粒径坐标取为对数坐标表示。

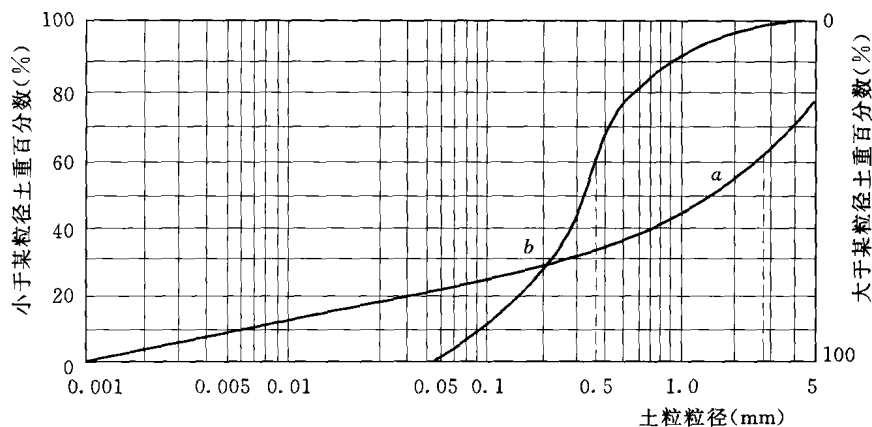


图 1.2 颗粒级配曲线

从级配曲线 a 和 b 可看出，曲线 a 所代表的土样所含土粒粒径范围广，粒径大小相差悬殊，曲线较平缓；而曲线 b 所代表的土样所含土粒粒径范围窄，粒径较均匀，曲线较陡。当土粒粒径大小相差悬殊时，较大颗粒间孔隙被较小的颗粒所填充，土的密实度较好，称为级配良好的土，粒径相差不大，较均匀时称为级配不良的土。

为了定量反映土的级配特征，工程上常用两个级配指标来描述：

$$\text{不均匀系数} \quad C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

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

上二式中： d_{10} 为有效粒径，小于某粒径的土粒质量占总质量的 10% 时相应的粒径； d_{60} 为限定粒径，小于某粒径的土粒质量占总质量的 60% 时相应的粒径； d_{30} 为小于某粒径的土粒质量占总质量的 30% 时相应的粒径。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况， C_u 越大，表示土粒分布越不均匀，土的级配良好。曲率系数 C_c 则是反映级配曲线的整体形状。一般认为 $C_u < 5$ 的土视为级配



不好； $C_u > 10$ ，同时 $C_c = 1 \sim 3$ 时为级配良好的土。

1.1.2.2 土中水

日常生活中，我们把水分分为自来水、河水、井水、海水等。土力学课程从工程角度对水进行微观研究。如上所述，土的孔隙中有水，水分子 H_2O 为极性分子，由带正电荷的氢原子 H^+ 和带负电荷的氧原子 O^- 组成。土粒表面带负电荷，在土粒周围形成电场，吸引水分子带正电荷的氢原子一端，使其定向排列，形成结合水膜。土中水可分为以下几种。

1. 结合水

(1) 强结合水（吸着水），紧靠土粒表面，厚度只有几个水分子厚，小于 $0.003\mu m$ 。强结合水性质接近固体，不传递静水压力， $100^\circ C$ 不蒸发，重度为 $12 \sim 24 kN/m^3$ ，具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。黏土只含强结合水时，呈固体坚硬状态；砂土只含强结合水时，呈散粒状态。

(2) 弱结合水（薄膜水），厚度远小于 $0.05\mu m$ ，（ $1\mu m = 0.001mm$ ）。重度为 $10 \sim 17 kN/m^3$ ，不传递静水压力，呈黏滞体状态。此部分水对黏性土影响最大。

2. 自由水

离土粒较远，在电场作用以外的水分子自由排列，为自由水。

(1) 重力水：位于地下水位以下，受重力作用而运动，有浮力作用。

(2) 毛细水：位于地下水位以上，受毛细作用而上升，粉土毛细水上升高。在寒冷地区要注意基础因毛细水上升产生的冻胀，地下室要采取防潮措施。

3. 气态水

气态水即水汽，对土的性质影响不大。

4. 固态水

当气温降至 $0^\circ C$ 以下时，液态水结冰为固态水。由于水的密度在 $4^\circ C$ 时最大，低于 $0^\circ C$ 的冰，体积膨胀，使基础产生冻胀。寒冷地区基础埋置深度要注意冻胀问题。

1.1.2.3 土中气体

土的孔隙中没有被水占据的部分都是气体，可分为：

(1) 自由气体。自由气体指上孔隙中的气体与大气连通的气体。通常在土层受力压缩时逸出，对工程无影响。

(2) 封闭气泡。封闭气泡与大气隔绝，存在黏性土中。当土层受荷载作用时，封闭气泡缩小。土中封闭气泡多时增加土的压缩性，减小土的渗透性。

情境 1.2 土的物理性质指标

1.2.1 土的三相图

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系，三相的相对含量不同，对土的工程性质有重要的影响。将土中原本相互分散交错的固体颗粒、气体和水分别集中起来，绘制出土的三相图。土的三相图分别按体积和质量表示了土中气体、水、固体颗粒间的比例关



系, 如图 1.3 所示。它是影响土的物理性质指标的主要原因, 用它可计算土的各项基本物理性能指标。

1.2.2 三项基本物理性质指标

此三项基本物理性质指标由室内实验直接测定, 故称为基本指标。

1. 土的重度 γ

土在天然状态下即保持土原来的成分、结构和含水量不变的情况下, 单位体积内土的重量称为土的天然重度, 即

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-3)$$

天然状态下土的重度变化范围很大, 一般为 $\gamma = 16 \sim 22 \text{ kN/m}^3$, 通常采用“环刀法”测定。

2. 土的含水量 ω

土中水的重量与土粒重量之比, 称为土的含水量 ω , 通常以百分比表示, 即

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1-4)$$

土的含水量通常用烘干法测定, 亦可近似采用酒精燃烧法快速测定。

土的含水量反映土的干湿程度。含水量愈大, 说明土愈湿, 一般说来也就愈软。天然状态下土的含水量变化范围较大, 一般砂土 $0 \sim 40\%$, 黏性土 $20\% \sim 60\%$, 甚至更高。

3. 土粒相对密度 d_s

土粒重量与同体积的 4°C 时水的重量之比, 称为土粒相对密度 (比重) d_s , 即

$$d_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad (1-5)$$

式中: γ_w 为纯水在 4°C 时的重度, $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$ 。

一般土的土粒相对密度常为 $2.65 \sim 2.76$, 对同一种类的土, 其值变化不大, 一般在试验室内用“比重瓶法”测定。

1.2.3 反映土密实程度的指标

1. 土的孔隙比 e

土中孔隙体积与土粒体积之比称为土的孔隙比 e , 即

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-6)$$

常见值: 砂土 $0.5 \sim 1.0$, 黏性土 $0.5 \sim 1.2$ 。

土的孔隙比可用来评价天然土层的密实程度。一般 $e < 0.6$ 的土是密实的低压缩性土, 为良好地基; 黏性土 $e > 1.0$ 为软弱地基。

2. 土的孔隙率 n

土中孔隙体积与总体积之比称为土的孔隙率 n , 即

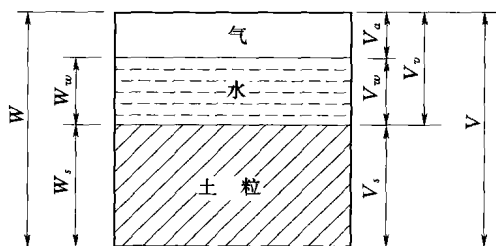


图 1.3 土的三相图

V_a —土中气体体积; V_w —土中水体积; V_v —土中孔隙体, $V_v = V_a + V_w$; V_s —土中颗粒体积; V —土的总体积, $V = V_s + V_a + V_w$; W_w —土中水重量; W_s —土中颗粒重量; W —土的总重量, $W = W_w + W_s$