

普通高等院校

精品课程规划教材
优质精品资源共享教材

土木工程专业优质精品资源共享课程教材

地基基础工程

DIJI JICHU GONGCHENG

卓 玲 编著

中国建材工业出版社

普通高等院校 精品课程规划教材
优质精品资源共享教材

地基基础工程

卓 玲 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基基础工程/卓玲编著. —北京:中国建材工业出版社, 2012. 8

普通高等院校精品课程规划教材 普通高等院校优质精品资源共享教材

ISBN 978-7-5160-0170-7

I. ①地… II. ①卓… III. ①地基-基础(工程)-高等学校-教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 170406 号

内 容 简 介

本书是依据国家已颁布的现行规范和标准, 结合近几年土木工程中的“四新”技术及其在工程中的实际应用编写的, 以培养技术应用能力为主线, 以掌握基本知识、强化实际应用为原则, 尽量做到理论与实践相结合。本书主要内容包括地基土的物理性质及工程分类、地基土中的应力计算、地基变形计算、土的抗剪强度和地基承载力、土压力和土坡稳定、工程地质勘察、浅基础和桩基础等。

本书编写思路清晰、内容详尽, 具有较强的针对性和实用性。适合作为土木工程技术、建筑工程技术、建筑施工技术、建筑设计技术、工程监理、工程造价和工程管理等相关专业的教学用书和参考书, 也可作为广大土建类工程技术人员的技术参考书。

本书配有课件, 可登录我社网站免费下载。

地基基础工程

卓玲 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 14.75

字 数: 354 千字

版 次: 2012 年 8 月第 1 版

印 次: 2012 年 8 月第 1 次

定 价: 33.00 元

本社网址: www.jcbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

目前,随着世界科学技术的发展和高层建筑的兴建,地基基础技术更显重要。无论是进行建筑工程设计还是进行建筑工程施工或管理,首先都必须熟练掌握地基基础工程及其施工技术应用,为此,编著者依据国家已颁布的现行规范和标准,结合近几年土木工程中的“四新”技术及在工程中实际应用,编写了《地基基础工程》。编写中突出实用性,遵循学习者的认知规律,精选内容,简化推导,强调应用。本书主要内容包括地基土的物理性质及工程分类、地基土中的应力计算、地基变形计算、土的抗剪强度和地基承载力、土压力和土坡稳定、工程地质勘察、浅基础和桩基础等。与本书配套的《地基基础工程学习指导与题解》正在编写中。

通过对本书的认真学习,读者将能掌握地基土的物理性质以及地基土中的应力、变形、强度等基本知识,学会阅读和使用工程地质勘察资料,了解和掌握各类基础的构造与受力特点,掌握一般浅基础、桩基础设计原理和方法,并能运用基本知识和原理,结合土木工程材料、建筑结构、建筑施工等知识,分析和解决地基基础工程设计与施工中的实际问题。

本书适合作为土木工程技术、建筑工程技术、建筑施工技术、建筑设计技术、工程监理、工程造价和工程管理等相关专业的教学用书和参考书,也可作为广大土建类工程技术人员的技术参考书。

本书由黎明职业大学卓玲编著。在编写过程中,得到了黎明职业大学陈金聪、李云龙、庄占龙、房琼莲、张玉华、蔡耀东、蔡永晖、王玫、张璐、王广利、蔡益兴、李晓耕等同志的大力帮助,在此深表感谢!

由于编者水平有限,书中不妥与疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

卓 玲
2012年5月

发展出版传媒 服务经济建设

传播科技进步 满足社会需求

我们提供

图书出版、图书广告宣传、企业定制出版、团体用书、
会议培训、其他深度合作等优质、高效服务。

编辑部
010-88385207

图书广告
010-68361706

出版咨询
010-68343948

图书销售
010-68001605

jccbs@hotmail.com

www.jccbs.com.cn



中国建材工业出版社
China Building Materials Press

(版权专有，盗版必究。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。举报电话：010-68343948)

目 录

绪论	1
第 1 章 地基土的物理性质及工程分类	5
1.1 土的组成及其结构与构造	5
1.2 土的物理性质指标	9
1.3 土的物理状态指标	14
1.4 地基岩土的工程分类	17
1.5 软弱地基的处理	21
思考题与习题	32
第 2 章 地基土中的应力计算	33
2.1 地基土中的自重应力	33
2.2 基底压力	36
2.3 地基土中的附加应力	40
思考题与习题	53
第 3 章 地基变形计算	54
3.1 土的压缩性	54
3.2 地基最终沉降量的计算	57
3.3 地基沉降与时间的关系	65
3.4 地基容许变形值	72
思考题与习题	74
第 4 章 土的抗剪强度和地基承载力	76
4.1 土的抗剪强度	76
4.2 土的抗剪强度试验方法	80
4.3 地基的临塑荷载及极限荷载	85
4.4 地基承载力的确定	93
思考题与习题	97
第 5 章 土压力与土坡稳定	99
5.1 土压力的类型	99
5.2 静止土压力的计算	100
5.3 朗肯土压力理论	102
5.4 常见情况下土压力计算	105

5.5 库仑土压力理论	110
5.6 挡土墙设计	118
5.7 边坡稳定性分析	124
思考题与习题	128
第6章 工程地质勘察	130
6.1 工程地质勘察的内容	130
6.2 工程地质勘察的方法	134
6.3 工程地质勘察报告	137
第7章 浅基础	144
7.1 地基基础设计的基本规定	144
7.2 浅基础的类型及材料	147
7.3 基础埋置深度的选择	151
7.4 基础底面尺寸的确定	153
7.5 无筋扩展基础设计	159
7.6 钢筋混凝土扩展基础	162
7.7 钢筋混凝土柱下条形基础与十字交叉基础	173
7.8 钢筋混凝土筏板基础和箱形基础简介	179
7.9 减少建筑物不均匀沉降的措施	184
思考题与习题	188
第8章 桩基础	190
8.1 桩的类型	191
8.2 单桩竖向承载力特征值	195
8.3 单桩水平承载力	203
8.4 桩侧负摩阻力和桩的抗拔力	208
8.5 桩基础设计	209
8.6 其他深基础简介	222
思考题与习题	225
参考文献	227

绪 论

地基与基础工程具有较强的实践性和理论性，随着建筑行业的迅速发展，基础形式的创新、地下空间的发展等，导致新技术、新设计方法的不断涌现，使本学科不断面临新的问题。

本绪论主要简要介绍地基和基础的基本概念及其设计的基本要求、本学科的重要性及其发展简史。

1. 地基、基础的基本概念

土是地球表面的大块岩石经过物理、生物和化学风化等作用所形成的松散堆积物，是多种大小不同矿物颗粒的集合体。它是由固体颗粒、水和气体三部分组成的三相体，其主要特征是具有多孔性和散粒性，以及由于它的形成条件和所处地理环境的不同而具有明显的区域性。在建筑物设计之前，必须充分了解建筑所在地的工程地质情况，对场地土做出正确的评价。

任何建筑物都是建造在一定的土层或岩层上的。通常把直接承受上部建筑物荷载作用且应力发生变化的那部分地层称为地基。地基是有一定深度和范围的，当地基由两层或两层以上土层组成时，通常将直接与基础底面接触的土层称为持力层；在地基范围内持力层以下的土层称为下卧层；当下卧层的承载力低于持力层的承载力时，称为软弱下卧层。

良好的地基应该具有较高的承载力和较低的压缩性。未经过人工加固处理而直接利用天然土层作为地基就可以满足设计要求的，称为天然地基；如果地基土质软弱，工程地质较差，需对地基进行人工加固处理后才能作为建筑物地基的，称为人工地基。由于人工地基施工周期长、造价高，而且基础工程的造价一般约占建筑总造价的 10%~30%，因此建筑物应尽量建造在良好的天然地基上，以减少基础工程造价。

建筑物的下部通常要埋入地面下一定深度，使之坐落在较好的土层上。我们将地面以上的结构称为建筑物的上部结构；地面以下的结构称为建筑物的下部结构，又称建筑物的基础，它位于建筑物上部结构与地基之间，承受着上部结构传来的荷载，并将上部荷载传递给地基。因此，基础起着上承和下传的作用。

基础都有一定的埋置深度（简称埋深），如图 0-1 所示。图 0-1 中 d 表示基础埋深，指设计地面至基础底面的距离。根据基础埋深的不同，

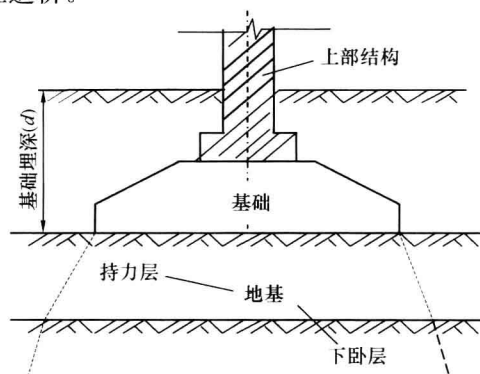


图 0-1 地基与基础

可分为浅基础和深基础。一般地,若地基土质较好,基础埋深不大($d \leq 5\text{m}$),只需要经过挖槽、排水,采用一般方法与施工机械施工的基础,称为浅基础;若上部结构荷载较大或浅层土质软弱,需将基础埋置于较深处($d > 5\text{m}$)的较好土层上,并需采用特殊的施工方法及施工机械施工的基础,称为深基础。

2. 地基基础设计的基本要求

为了保证建筑物的安全和正常使用,地基与基础设计应满足以下基本要求:

① 地基承载力要求:即要求作用于地基上的荷载不超过地基承载力,以保证在荷载作用下地基不发生剪切破坏或失稳。

② 地基变形要求:控制基础沉降使之不超过地基变形的允许值,保证建筑正常使用。

③ 基础结构本身应具有足够的强度、刚度和稳定性,以保证建筑物安全正常的使用,并具有良好的耐久性。

为满足上述要求,从基础角度考虑,通常考虑加大基础底面积,以满足地基承载力、变形和稳定性的要求;从地基角度考虑,则应尽可能选择承载力高、压缩性低的良好地基。在荷载作用下,建筑物的地基、基础和上部结构三部分是彼此联系、相互制约。设计时应根据地质勘察资料,综合考虑三者的相互作用与施工条件,通过技术、经济比较,选择最佳的地基基础方案。

3. 地基与基础的重要性

地基与基础统称为基础工程,是建筑物的根本,它的勘察、设计和施工质量的优劣将直接影响建筑的安危、经济和正常使用。基础工程施工是在地下或水下进行,属于隐蔽工程,具有施工难度大、工期长、质量不易保证的特点,一旦出现质量问题或质量事故,补救和处理十分困难,甚至往往不能奏效。此外,基础工程造价在整个工程造价中所占比例较大,一般多层建筑基础工程造价占建筑总造价的 25%~30%,高层建筑可占到 30%~40%,相应的施工工期约占建筑总工期的 20%~25%,有的还会稍高些,因此其重要性是显而易见的。

在土木工程史上,曾发生过许多因基础工程设计有误而造成建筑物质量事故的典型事例。如加拿大特朗斯康谷仓(见图 0-2),其平面呈矩形,长 59.44m、宽 23.47m、高 31.0m、容积 36368m³。谷仓为圆柱形筒仓,每排 13 个圆筒仓,5 排共 65 个圆筒仓组成。谷仓的基础为钢筋混凝土筏形基础,厚 61cm,基础埋深 3.66m。谷仓于 1911 年开始施工,1913 年秋完工。谷仓自重 200000t,相当于装满谷物后总重量的 42.5%。建成后初次储存谷物后谷仓明显向西倾斜,西端下沉 7.32m,东端上抬 1.52m,倾斜度达 26°53'。这是由于设计时未对谷仓地基承载力进行调查研究,采用邻近建筑地基 352kPa 的承载力,事后 1952 年的勘察表明,基础下埋藏有厚达 16m 的软粘土层,该地基的实际承载力为 193.8~276.6kPa,而谷仓加载后地基压力达 329.4kPa,地基因超载发生强度破坏。由于该谷仓整体刚度好,无明显裂缝,为纠偏在筒仓下设置了 70 多个支撑于基岩上的混凝土墩,使用了 388 只 500kN 的千斤顶,才将倾斜的筒仓纠正,修复后标高比原来降低了 4m。

落成于宋太祖建隆二年(公元 961 年)、位于苏州市西北虎丘公园山顶的虎丘塔(见图 0-3),原名云岩寺塔,距今已有 1000 多年悠久历史。全塔 7 层,高 47.5m,塔的平面呈八角形,由外壁、回廊与塔心三部分组成。1980 年 6 月现场调查发现,全塔向东北方向严重倾斜,不仅塔顶离中心线已达 2.31m,而且底层塔身产生不少裂缝,成为危险建筑而封

闭、停止开放。经勘察，虎丘塔地基为人工地基，由大块石组成，块石填土层厚 1~2m，西南薄，东北厚；下为粉质黏土，呈可塑至软塑状态，也是西南薄，东北厚；底部即为风化岩石和基岩。在塔底层直径 13.66m 范围内，覆盖层厚度西南为 2.8m，东北为 5.8m，厚度相差 3.0m，地基土压缩层厚度范围内土质明显不均匀而造成虎丘塔发生倾斜。

著名的意大利比萨斜塔（见图 0-4）于 1173 年 9 月 8 日动工，1178 年建到第 4 层中部，高度 29m 时，因塔明显倾斜而停工。94 年后，1272 年复工，到 1278 年建至第 7 层，高达 48m，发现塔身不再呈直线，而为凹形，工程又停。此次停工中断 82 年。1360 年再次复工，至 1372 年摆放钟的顶层完工，前后历经近 200 年。比萨塔共 8 层，高 55m，全塔荷重 145kN，相应地基平均压力约 50kPa。地基持力层为粉砂，下面是粉土和黏土层。由于地基的不均匀下沉，使塔向南倾斜，南北两端沉降差 1.8m，塔顶离中心线达 5.27m，倾斜 5.5° 。

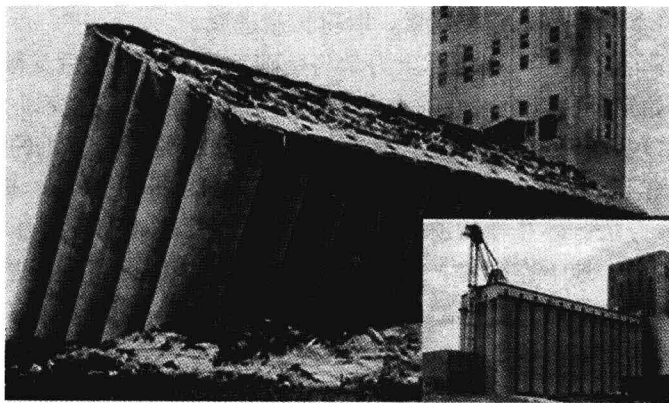


图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓

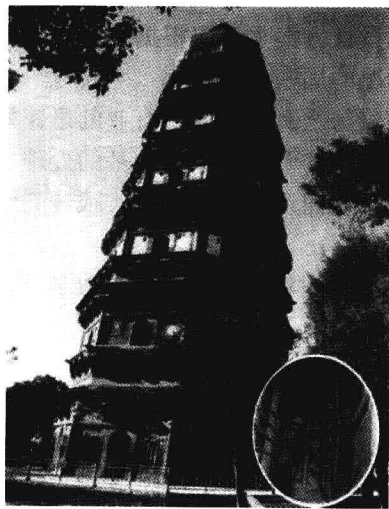


图 0-3 苏州虎丘塔



图 0-4 意大利比萨斜塔

4. 本学科发展简史

基础工程作为一门工程技术，是悠久和古老的。我国西安半坡发现的新石器时代的土台

基础遗址，驰名中外的万里长城，赵州石拱桥，遍布全国的宏伟的古代宫殿、寺院及众多的宝塔等建筑，都是源于坚固的基础才得以经受风雨及强震考验而至今仍安然无恙。基础工程是伴随生产实践的发展而发展，其发展水平也与社会各历史阶段的生产和科学水平相适应。

18 世纪欧洲工业革命以后，大规模城市建设，水利、铁路等行业的迅速兴起，推动了本学科理论的产生和发展。下述几个古典理论被认为是该门学科的重要组成：

1773 年，法国的库仑（Coulomb）根据试验提出了砂土的抗剪强度公式和库仑土压力理论；1855 年，法国的达西（Darcy）创立了土的层流渗透定律；1857 年，英国的朗肯（Rankine）从另一途径提出了朗肯土压力理论；1885 年，法国的布辛奈斯克（Boussinesq）求得了弹性半空间表面作用竖向集中力时的应力、应变理论解答；1925 年，奥裔美国学者太沙基（Terzaghi）在总结归纳前人研究成果的基础上，出版了第一部《土力学》专著，带动各国或地区学者对本学科的研究和探索，取得长足进展。

1936 年，在美国召开了第一届国际土力学与基础工程会议，之后又陆续召开了十多届。我国也从 1962 年开始定期召开全国性的土力学与基础工程会议，提交了大量的研究资料和学术论文。近年随着现代科技成就在该领域的逐步渗透，特别是计算机的应用和试验测试技术的进步，推动了该门学科的发展。出现了如补偿式基础、桩-筏基础、桩-箱基础等新型基础形式；出现了如强夯法、砂井堆载预压法、真空预压法、振冲法、高压喷射注浆法等地基处理方法；出现了盾构、地下连续墙、锚杆支护及加筋土挡墙等新型支护结构形式。但是，由于基础工程属地下隐蔽工程，且受地质条件、施工技术等方面的影响，随着城市建筑密集度提高，高层结构的不断涌现，也给基础工程带来新的问题，为其发展提供新的机会。

5. 本课程的特点

地基与基础工程是一门实践性和理论性均较强的课程。由于地基土形成的自然条件各异，因而它们的性质是千差万别的。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。因此，一个最优的地基基础设计方案主要应根据完整的地质、地基土资料，借鉴经验和经典力学理论，进行符合实际情况的周密分析。

本课程的另一大特点是知识更新周期较短。随着与之有关的建筑行业的迅速发展，使该学科不断面临新的问题，如基础形式的创新、地下空间的开发、软弱地基的处理、新的土工合成材料的应用等，从而导致新技术、新设计方法不断涌现，且往往是实践领先于理论，并促使理论不断更新和完善。

根据上述特点，对于本课程的学习要求是：掌握土的基本物理性质和力学特性；掌握一般土工建筑物设计中有关计算理论和方法，分析和解决地基基础的工程问题。

本教材共分 8 章。第 1 章“地基土的物理性质及工程分类”是本课程的基础知识；第 2 章～第 5 章是土力学的基本理论部分，也是本课程的重点内容；第 6 章～第 8 章为基础工程部分，要求能够运用土力学理论解决工程中的主要地基基础问题，其中一般建筑物的基础设计方法是本课程的又一重点内容。

本课程涉及面广，与建筑力学、建筑结构、工程地质、土木工程材料、建筑施工技术等学科密切相关，因此在学习本课程时既要注意与其他学科的联系，理论联系实际，注重提高分析问题和解决问题的能力。

第 1 章 地基土的物理性质及工程分类

在漫长的地质年代中，由于各种内力和外力地质作用形成性质不同的土。土是由固体颗粒、水和气三相所组成，其中固体颗粒的大小、成分及三相之间的比例关系决定了土的物理性质，而土的物理性质与土的力学性质关系密切。所以要研究土的性质就必须了解土的三相组成、相互之间的比例关系以及在天然状态下土的结构和构造等。

本章主要阐述土的组成、土的结构与构造、土的基本物理性质指标以及土的工程分类。

1.1 土的组成及其结构与构造

1.1.1 土的组成

在天然状态下，土是由构成骨架的固体颗粒（固相）、存在于孔隙中的水（液相）和气体（气相）三部分所组成三相体系。三相组成比例不同时，土体所呈现出的物理性质不同。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；土中孔隙同时有水和气体存在时，称为非饱和土，随含水量的多少可呈现软塑、可塑与硬塑状态。土体三相组成部分本身的性质、相对含量和相互作用影响着土的物理力学性质。

1. 土的固体颗粒

土的固体颗粒的大小、形状、矿物成分等是决定土体物理性质的重要因素。

(1) 土的颗粒级配

自然界中的土都是由大小不同的土粒所组成。当土粒粒径由粗变细，土的性质也相应变化。例如，土粒粒径由粗变细，其性质可由无黏性变为有黏性，而透水性随之减少，并且粒径大小在一定范围内的土粒，其所含矿物成分及性质都比较接近。因此，可将土中各种不同粒径的土粒，按适当范围分成若干粒组，划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。表 1-1 是常用粒组划分法，根据界限粒径 200mm、60mm、2mm、0.075mm 和 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。

天然土体中包含有大小不同的土粒，为了表示土粒的大小及组成情况，工程上常用土中各个粒组相对含量（即各粒组占土粒总量的百分数）来表示土粒的大小及组成情况，称为土的颗粒级配。

土的颗粒级配是通过颗粒分析试验来测定，实验室常用筛分法和比重计法（或移液管法）。对于粒径大于 0.075mm 的粗粒土适用于筛分法测定。试验时将事先称过质量的风干、分散的土样通过一套孔径不同的标准筛（按从上至下筛孔逐渐减小放置），称出留在各级筛

上的土粒质量，然后计算小于某粒径的土粒含量。对于粒径小于 0.075mm 的细粒土适用于比重计法测定。此法根据土颗粒在水中匀速下沉时速度与粒径的平方成正比原理，把土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土粒总量的百分数。

表 1-1 土粒粒组划分

粒组统称	粒组名称		粒径范围 (mm)	一般特征
巨粒土	漂石或块石		$d>200$	透水性很大，无黏性，无毛细水
	卵石或碎石		$200\geq d>60$	
粗粒土	圆砾或角砾	粗	$60\geq d>20$	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	$20\geq d>5$	
		细	$5\geq d>2$	
	砂粒	粗	$2\geq d>0.5$	易透水，当混入云母等杂质时透水性减小，而压缩性增加；无黏性，遇水不膨胀，干燥时松散；毛细水上升高度不大，随粒径变小而增大
		中	$0.5\geq d>0.25$	
		细	$0.25\geq d>0.075$	
细粒土	粉粒		$0.075\geq d>0.005$	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
	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，但速度较慢

根据土的颗粒分析试验结果，可绘制如图 1-1 所示的颗粒级配曲线。图 1-1 中以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（因为土颗粒的粒径往往相差几千甚至几万倍，故将粒径的坐标取为对数坐标），以 mm 表示。

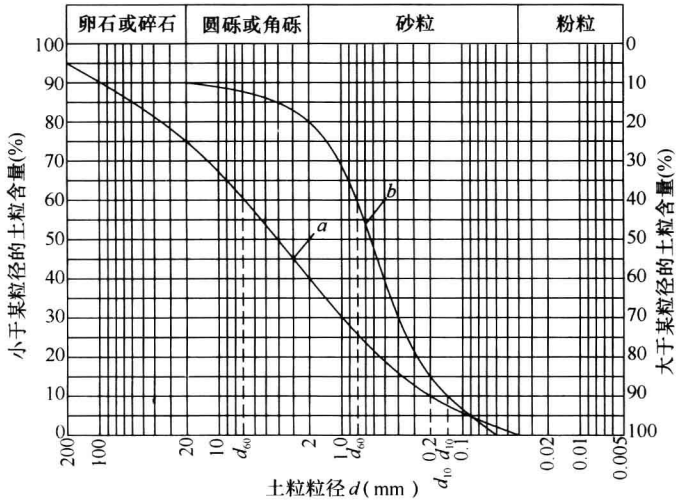


图 1-1 土的颗粒级配曲线

根据颗粒级配曲线的坡度和曲率可判断土样的级配状况。如所绘制的级配曲线平缓，表

示土粒粒径相差悬殊,土粒粒径不均匀,即级配良好;反之,如曲线较陡,则表示土粒粒径相差不大,土粒粒径较均匀,即级配不良。

为了定量分析土粒的不均匀程度,工程上常用土粒的不均匀系数 C_u 来描述颗粒级配的不均匀程度,即

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1.1)$$

式中 d_{60} ——小于某粒径土的质量占土总质量的 60% 时的粒径,又称限定粒径;

d_{10} ——小于某粒径土的质量占土总质量的 10% 时的粒径,又称有效粒径。

C_u 值越大,颗粒级配曲线越平缓,表示土粒越不均匀;反之, C_u 值越小,颗粒级配曲线越陡,土粒越均匀。工程上把 $C_u < 5$ 的土视为级配不良, $C_u > 10$ 的土视为级配良好,该种土作为填方工程的土料,较粗颗粒间的孔隙被细粒土填充,使土体容易获得较大的密实度。但有时只用 C_u 值还不能完全确定土的级配情况,而需要同时考虑级配曲线的整体形状。级配曲线的形状、曲线是否连续,可用曲率系数 C_c 来描述:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (1.2)$$

式中 d_{30} ——小于某粒径土的质量占土总质量的 30% 时的粒径。

根据我国 (GB/T 50145—2007)《土的工程分类标准》,砾石土或砂土同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,为级配良好的砾石土或砂土。

(2) 土粒的矿物成分

土粒的矿物成分可分为原生矿物和次生矿物,其主要取决于母岩的成分及风化作用。

原生矿物由岩石经过物理风化形成,其矿物成分与母岩相同,常见的如石英、长石和云母等。一般较粗颗粒的砾石、砂等主要是由原生矿物组成,土体的性质稳定,具有无黏性、透水性较大、压缩性较低的工程特性。

次生矿物是岩石经化学风化后所形成的新矿物,其矿物成分与母岩不同,常见的如黏土矿物、铝铁氧化物及氢氧化合物等。土中含黏土矿物越多,土的黏性、塑性和胀缩性也越大。

2. 土中水

土中水即为土的液相,其含量对细粒土的性质影响较大,主要是使其产生黏性、塑性及胀缩性等一系列变化。土中水除一部分以结晶水的形式吸附于固体颗粒的晶格内部外,还存在结合水和自由水两大类。

(1) 结合水

结合水是指由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离颗粒表面远近,结合水又可以分为强结合水和弱结合水两类,如图 1-2 所示。

强结合水:又称吸着水,指受土粒表面强大吸引力作用而吸附于土粒表面的结合水。其所受电场的作用力很大,几乎完全固定排列,丧失液体的特性而接近于固体。强结合水密度要比自由水的大,其冰点远低于 0°C ,在温度达 105°C 以上时才可能被蒸发。

弱结合水:又称薄膜水,指强结合水以外、电场作用范围以内的结合水。其也受颗粒表面电荷所吸引成定向排列于颗粒四周,但电场作用力随着与颗粒距离增大而减弱。其厚度较

结合水大，具有较高的黏滞性和抗剪强度。较厚水膜可向较薄处转移，直至平衡为止，使土具有可塑性。黏土颗粒比表面大，含薄膜水多，故可塑范围大。粗颗粒土比表面小，含薄膜水很少，故基本不具可塑性。

随着与土粒表面距离的增大，吸附力减小，弱结合水逐渐过渡为自由水。

(2) 自由水

自由水是存在于土粒表面电场影响范围以外的水。它的性质和普通水一样，能传递静水压力，冰点为 0°C ，有溶解能力。自由水又可分为重力水和毛细水两类。

① 重力水：指地下水位以下的透水土层中的自由水，对于土粒和结构物水下部分产生浮力。在重力和压力差作用下能在土的孔隙中流动。重力水对土层中的应力状态和开挖基槽、基坑以及修筑地下构筑物时所应采取的排水、防水措施有重要的影响。

② 毛细水：指位于潜水位以上的透水土层中的自由水，受水与气交界面处的表面张力作用。它的上升高度与土的性质有关。在粉土中毛细水上升的高度最高，产生毛细现象的最大极限土颗粒粒径是 2mm 。

3. 土中气

土中气体存在于土孔隙中未被水所占据的部位。在粗粒的沉积物中常见与大气相连通的自由气体，在土层受到外部压力后，土体压缩时气体逸出，对土的力学性质影响不大。在细粒土中则存在与大气隔绝的封闭气泡，当土层受到外部载荷作用时，封闭气泡被压缩。土中的封闭气泡较多时，土的压缩性提高，渗透性减小。

1.1.2 土的结构

土的结构是指土颗粒之间的空间排列和相互联结的形式，与组成土的颗粒大小、颗粒形状、所含矿物成分和沉积条件有关。一般可分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

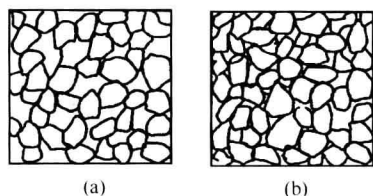


图 1-2 土的单粒结构

(a) 疏松状态；(b) 密实状态

单粒结构为砂土和碎石土的基本组成形式，特点是土粒间存在点和点的接触。根据其形成条件不同，分为疏松状态如图 1-2 (a) 所示和密实状态如图 1-2 (b) 所示。疏松状态的单粒结构稳定性差，当受到震动及其他外力作用时，土颗粒易发生移动，土中孔隙减小，引起土的较大变形；密实的单粒结构则较稳定，力学性能好，是良好的天然地基。

蜂窝结构是以粉粒为主的土所具有的结构形式，其特点是孔隙较大。它是较细的土粒（粒径 $d=0.075\sim0.005\text{mm}$ ）在水中因自重作用而下沉时，碰到其他正在下沉或已下沉稳定的土粒，由于粒间的引力大于下沉土粒的重力，后沉土粒就停留在最初的接触点上不再继续下沉所形成的，如图 1-3 所示。

絮状结构又称絮凝结构，是黏性土的主要结构形式。它是由于细微的黏粒（粒径小于 0.005mm ）在水中处于悬浮状态。由于土粒表面的弱结合水厚度减薄，水中运动时黏粒互相接近，凝聚成絮状物下沉，从而形成孔隙较大的絮状结构，如图 1-4 所示。

蜂窝结构和絮状结构的土中存在大量孔隙，土质松软，含水量高，压缩性大，结构破坏后强度降低较大，工程性质极差，不可用做天然地基。

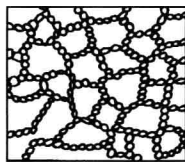


图 1-3 土的蜂窝结构

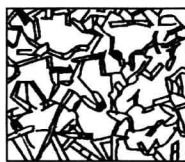


图 1-4 土的絮状结构

1.1.3 土的构造

土的构造是指土体中各结构单元之间的关系。一般分为层状构造、分散构造和裂隙构造。

层状构造的土由不同颜色、不同粒径所构成，分水平层理和交错层理。层状构造是细粒土的一个重要特征。

分散构造的土其各部分的土粒无明显差别，性质接近，分布均匀。砂、卵石层为分散构造。

裂隙构造的土层中有许多不连续的小裂隙，在裂隙中常充填有各种盐类的沉淀物。不少坚硬和硬塑状态的黏性土是此种构造，裂隙将破坏土的整体性，增大透水性，对工程不利。

1.2 土的物理性质指标

土是由固相、液相和气相所组成。土的各组成部分的比例关系反映土的物理状态，如土的干湿、软硬、松密等。表示土的三相组成之间比例关系的指标，称为土的三相比例指标，它们对评价土的物理、力学性质有重要意义。

1.2.1 土的三相简图

为便于说明三相比例指标的基本定义和它们之间的换算关系，常将土体中的三相抽象地分开表示，画出如图 1-5 所示的三相简图。

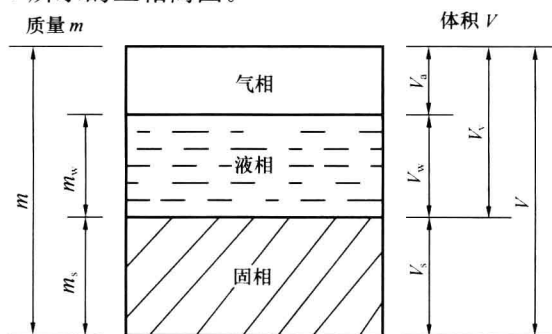


图 1-5 土的三相简图

m —土的总质量； m_s —土粒的质量； m_w —水的质量； $m=m_s+m_w$ ；

V —土的总体积； V_a —气体的体积； V_w —水的体积；

V_s —土粒的体积； V_v —土的孔隙体积； $V_v=V_a+V_w$ ；

$V=V_a+V_w+V_s$

1.2.2 土的三相指标定义

1. 基本指标

将土的物理性质指标中可直接通过土工试验测定的,称为基本指标,又称直接测定指标。

(1) 土的天然重度 γ

天然状态下,单位体积土的重力,称为土的重度,单位为 kN/m^3 ,即

$$\gamma = \frac{mg}{V} \quad (1.3)$$

式中 g ——重力加速度,取 $g=9.8\text{m/s}^2$,实用计算时取 $g=10\text{m/s}^2$ 。

土的重度取决于土粒的重量、孔隙体积的大小和孔隙中水的重量,综合反映了土的组成和结构特征,测定方法常用环刀法。

一般地,天然状态下土的重度变化范围较大,其参考值:黏性土和粉土 $18\sim 20\text{kN/m}^3$;砂土为 $16\sim 20\text{kN/m}^3$ 。

(2) 土的天然含水量 w

天然状态下,土中水的质量与土粒质量比值的百分率,称为土的天然含水量,又称含水率。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1.4)$$

土的天然含水量与土的种类、埋藏条件及所处的地理环境有关,其变化范围较大。一般地,黏性土的含水量越高,其压缩性越大,强度越低。测定方法常用烘干法。

一般土体的天然含水量参考值:砂土为 $0\sim 40\%$;黏性土为 $20\%\sim 60\%$ 。

(3) 土粒的相对密度 (土粒比重) d_s

土粒质量与同体积 4°C 时水的质量之比,称为土粒的相对密度,其是无量纲数值。

$$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1.5)$$

土粒的相对密度与土中有机质含量有关。土中有机质含量增加,土粒的相对密度减小。测定方法常用比重瓶法。

对同一类土,相对密度的变化范围较小。参考值:黏性土为 $2.70\sim 2.75$;砂土为 2.65 ;泥炭土为 $1.5\sim 1.8$ 。

2. 导出指标

通过土工试验测定出基本指标后,可导出其余物理性质指标。

(1) 土的孔隙比 e 和孔隙率 n

土中孔隙体积与土粒体积的比值,称为孔隙比。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1.6)$$

孔隙比是反映土体密实程度的一个重要物理性质指标。一般体土孔隙比的参考值:砂土为 $0.5\sim 1.0$;黏性土和粉土 $0.5\sim 1.2$;一般 $e < 0.6$ 的砂土为密实状态,属于良好的地基; $1.0 < e < 1.5$ 的黏性土为淤泥质土,属于软弱地基。