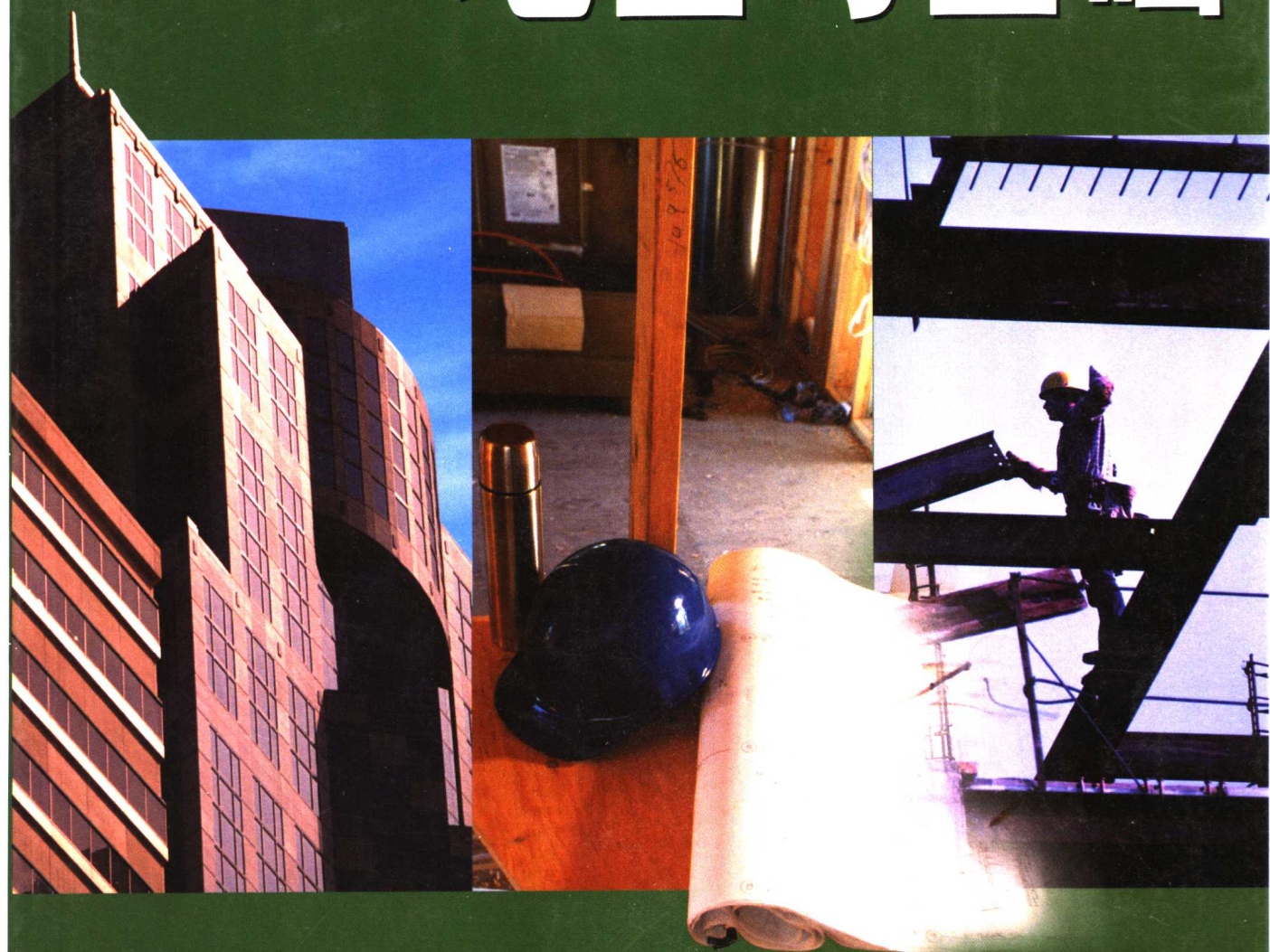


修订版

建筑企业专业管理人员岗位资格培训教材

穆阳阳 王力波 阿丽古娜 编

地基与基础



4
94(3)

中国环境科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基与基础/穆阳阳编. —北京: 中国环境科学出版社, 1998.4
建筑企业专业管理人员岗位资格培训教材
ISBN 7-80135-359-5

I. 地… II. 穆… III. 地基 - 基础 (工程) - 技术培训-
教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (07) 第 29170 号

中国环境科学出版社出版发行
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
北京市联华印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2003 年 3 月第 三 版	开本	787×1092	1/16
2003 年 3 月第一次印刷	印张	12	1/4
印数 1—10 000	字数	300 千字	

定价: 14.00 元

第三版出版说明

1987年建设部人事教育劳动司组织编写、我社出版的《建筑企业专业管理人员岗位培训教材》，于1994年修订再版，并更名为《建筑企业专业管理人员岗位资格培训教材》。出版至今，8年来在建筑专业管理人员岗位资格培训中发挥了重要的作用，为建筑企业提高技术素质和管理水平作出了贡献。随着我国加入WTO和建筑企业改革的深化，建筑科学技术日新月异，新规范、新标准、新法规相继颁布，先进的企业管理方法正在建筑企业实行。为此，我社根据使用单位、教师、学员的建议，适应市场经济和入世的需要，决定对这套教材进行修订。

这次修订工作总结以往的经验 and 各地读者提出的建议及意见，注重理论联系实际，突出实用性、科学性、先进性和适当超前性。删除陈旧过时的内容，反映当前建筑行业生产中采用的新技术、新工艺、新材料、新设备和现代管理理念。采用已颁布的新标准、新规范、新法规。修订后篇幅适当，图文并茂，每章有小结，备有思考复习题和适当的作业题。这些将使参加培训的管理人员和自学教材的读者，比较系统地掌握实用性技术和现代企业管理方法，成为符合培训目标要求的、有扎实技术素质和现代企业管理能力的骨干。

为使这套教材日臻完善，更加适合从业者资格考核的需要，希望使用单位提出宝贵意见，以便不断提高教材的质量。这套教材修订得到了各有关院校、设计、施工、科研单位的大力支持，在此谨致谢意。

中国环境科学出版社

2002年4月

出 版 说 明

1987年由建设部干部局、建设部远距离教育中心组织编审，1988年由中国环境科学出版社出版的建筑企业专业管理人员岗位培训教材自出版以来，在建筑施工企业岗位培训工作中，发挥了重要的作用，但也存在一定的不足，特别是这套教材出版以来的6年中，我国的社会主义建设事业发生了巨大变化，科学技术日新月异。原来的教材已不适应社会主义市场经济和建筑施工企业岗位资格培训的需要，也不符合1987年以来颁布的新法规、新标准、新规范，为此我司决定对通用性强、培训工作急需的23种教材，进行修订或重新编写。经修订或重新编写的教材，基本上能满足建筑施工企业关键岗位培训工作的需要。

经修订或重新编写的这套教材，定名为建筑企业专业管理人员岗位资格培训教材。它是根据经审定的大纲和在总结前一套教材经验的基础上以及广大读者、教师、工程技术人员在使用中的意见和建议，结合改革开放形势发展的需要，按照科学性、先进性、针对性、实用性、适当超前性和注重技能培训的原则，进行修订和编写的。部分教材进行了大幅度的删减。为适应在职职工自学的要求，这套教材每章均附有小结、复习思考题和必要的作业题。

这套教材修订、新编的具体工作，由中国建设教育协会继续教育委员会负责组织。在编写、出版过程中，各有关院校、设计、施工、科研单位，为保证教材质量和按期出版，作出了不懈的努力，谨向这些单位致以谢意。

希望各地在使用过程中提出宝贵意见，以便不断提高建筑企业专业管理人员岗位资格培训教材的质量。

建设部人事教育劳动司

1994年8月

前 言

本教材第三版是在第二版的基础上，根据中华人民共和国建设部、国家质量监督检验检疫总局联合发布的国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）及有关《规范》而进行了修订。

在内容上进行了适当删补。

在本教材的修订过程中，得到建设部白云格娃同志、卫明同志及中国建筑科学研究院杨军同志的大力支持和帮助，在此谨表谢意。

由于编者水平所限，教材中难免存在缺点和疏漏，恳切希望广大读者批评指正。

编 者
2003 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地基基础的概念	1
第二节 地基基础课程的特点和学习要求	2
第二章 地基土的物理性质及分类	3
第一节 土的组成	3
第二节 土的物理性质指标	6
第三节 地基土的分类及物理状态	10
第三章 地基中应力的计算	17
第一节 基底应力的计算	18
第二节 自重应力的计算	21
第三节 附加应力的计算	23
第四节 基础埋置深度对附加应力的影响	30
第四章 地基基础设计的基本规定	32
第一节 地基基础设计等级	32
第二节 荷载规定	32
第三节 承载力计算规定	33
第四节 按变形设计规定	34
第五节 稳定性验算规定	37
第五章 地基变形的计算	38
第一节 土的压缩性	38
第二节 地基最终变形量的计算	40
第三节 建筑物变形观测	46
第六章 土的抗剪强度与地基土的承载力	50
第一节 土的抗剪强度	51
第二节 土的极限平衡理论	52
第三节 地基土的承载力	54
第七章 岩土工程勘察	60
第一节 岩土工程勘察规定	60
第二节 勘察方法	60
第三节 土的野外鉴别与描述	63
第四节 地下水	67
第五节 工程地质勘察报告	68
第六节 验 槽	90
第八章 天然地基浅基础设计	95

第一节	浅基础的类型及构造要求	95
第二节	基础埋置深度	105
第三节	基础底面尺寸的设计	112
第四节	基础剖面尺寸的设计	118
第五节	无筋扩展基础设计实例	125
第九章	桩基础	132
第一节	桩基础的分类	132
第二节	桩和桩基的构造要求	136
第三节	桩的受力计算	136
第四节	单桩承载力	137
第五节	桩承台	143
第六节	桩基的沉降验算	150
第七节	桩基础设计步骤	152
第十章	地基处理	154
第一节	软弱土地基和特殊土地基	154
第二节	软土地基	154
第三节	地基处理方法	156
第四节	减少不均匀沉降的一般措施	169
第五节	地基加固实例	172
附录一	土工试验指导书	175
〔试验一〕	土的密度、天然含水率、土粒比重试验	175
〔试验二〕	土的液限、塑限试验	179
〔试验三〕	土的压缩试验	180
〔试验四〕	土的抗剪强度试验	183
附录二	计量单位换算	186
附录三	主要符号	187

第一章 绪 论

第一节 地基基础的概念

地基和基础是建筑工程中两个不同而又联系密切的概念。对于任何建筑物来讲，它都是建造在一定的地层上，也就是建造在土层或岩石上面。建筑物荷载传递路线如图 1-1 所示。

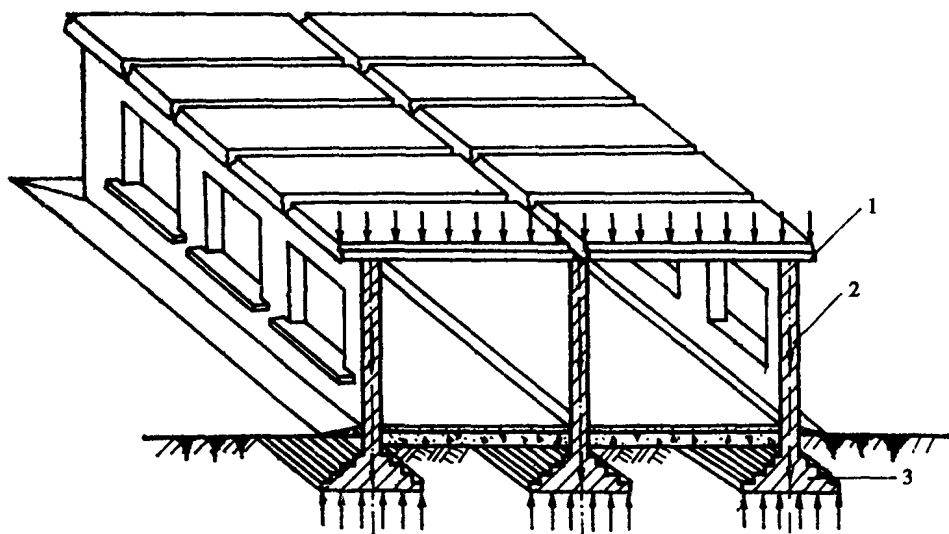


图 1-1 建筑物荷载传递示意图

1—钢筋混凝土板式屋面 2—承重墙 3—基础

屋面荷载是由屋面板（屋架）传给承重墙（柱），再由承重墙（柱）传给建筑物的基础，加上建筑物自身材料的重量由基础传给与基础接触的土层或岩石上。对于较复杂型式的建筑物来讲，也类同这样的传力路线。

在建筑工程上，我们将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分称为基础，将为支承基础的土体或岩体称为地基。

另外，我们将基础所埋置的土层称为持力层，持力层下基底作用影响范围内的土层称为下卧层，其相互关系如图 1-2 所示。

基础是建筑物的一个主要组成部分，基础的强度直接关系到建筑物的安全与使用。而地基的承载力、压缩性、稳定性更直接影响到基础以至建筑物的安全、耐久性和正常使用。由此可知，正确解决地基基础问题是建筑工程中一项十分重要的工作。无论是在勘察、设计还是在施工中，都应严格执行有关《规范》中的规定，不得有一点马虎和疏忽。

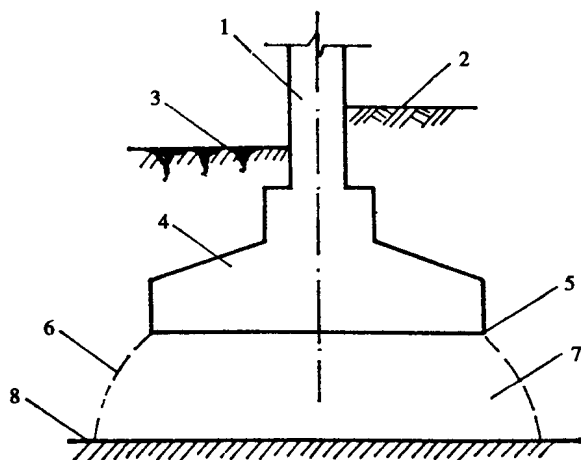


图 1-2 地基基础示意图

1—上部结构 2—室内地面 3—室外地面 4—基础 5—基础底面
6—持力层受力范围 7—持力层 8—下卧层

在中外建筑历史上，有举不胜举的地基基础事故的例子，比较典型的有：

1. 举世闻名的意大利比萨斜塔，该塔由于建造在不均匀的高压缩性土上，致使塔基产生不均匀沉降，北侧下沉 1m 多，南侧下沉有 3m，使塔身倾角达 5.8° 之多。

2. 上海锦江饭店建在软土地基上，采用桩基础，由于未按设计桩数施工，造成大幅度沉降，建筑物的绝对沉降达 2.6m，致使原底层陷入地下，成了半地下室，严重影响使用。

3. 1958 年 1 月 30 日南美洲巴西一座 11 层的大楼建成后还未使用，就在 20s 内倒塌，经调查，其原因是地基土是沼泽土，因桩基础桩长不够，桩身悬浮在软土层中，致使承载力不足造成倒塌。

特别是近些年来，随着我国经济的飞速发展，建设规模日趋扩大，新技术、新材料、新施工方法不断涌现，建成许多优质、新颖、美观的建筑。但是，有关地基和基础隐患造成的事故也屡见不鲜。因此，在地基基础工程的勘察、设计及施工各个阶段，必须贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境。

第二节 地基基础课程的特点和学习要求

地基基础课是一门综合性很强的课程，它涉及到工程地质学、土力学、建筑材料、建筑结构、结构抗震和施工技术等多个学科的基本知识。作为岗位职务培训教材，在学习本教材时，应掌握工程地质的基本知识，学会阅读，运用工程地质勘察资料，初步掌握勘察方法与评价分析方法，初步掌握地基基础的设计原理和步骤，以便能理解设计人员的设计意图，了解地基局部处理方法和人工地基的处理方法。

地基基础课也是一门实践性很强的课程。由于地基土的种类繁多，土层分布又十分复杂，不均匀，借助地基原位测试和室内土工试验，是获得土层鉴定的重要方法。因此，学习本课程时，应掌握必要的试验方法和手段。另外，对工程地质勘察及验槽工作的现场参观教学也是学习中非常重要的一个环节。在有可能的情况下，都应动手做土工试验和参加现场观摩。

第二章 地基土的物理性质及分类

第一节 土的组成

在一般情况下，土是由三相物质组成的。固相——矿物颗粒和有机质；液相——水溶液；气相——空气。矿物颗粒构成土的骨架，空气和水则填充骨架间的孔隙。不同的土的三相物质性质和其间的比例是不同的，因而，土的物理力学性质也各不相同。在特殊情况下，当孔隙完全被气体充满时，称为干土。当孔隙完全被水充满时称为饱和土。干土和饱和土属于二相体系。在建筑工程上，不同土的工程性质不同。

一、土的固相

土的固相主要是由大小不同，形状各异的多种矿物颗粒构成的，对有些土来讲，除矿物颗粒外还含有有机质。土的固体颗粒的大小和形状，矿物成分及组成情况对土的物理力学性质有很大的影响。

(一) 颗粒级配

自然界中的土都是由大小不同的土粒所组成。大颗粒和小颗粒在性质上并不相同，为了便于分析研究，可将土粒按其性质划分成若干粒组。见表 2-1。表中列出了各个粒组的粒径范围和相应的特征。由表中看出，颗粒越小，与水的相互作用就越强烈。当土粒的粒径小于 0.005mm 时，土粒遇水就出现粘性、可塑性、膨胀性等粗颗粒所不具有的诸种特性。

表 2-1 土粒粒组的划分

粒组名称	粒径 (mm)	一般特征
漂石或块石	> 200	透水性很大，无粘性，无毛细水
卵石或碎石	200 ~ 20	透水性很大，无粘性，无毛细水
圆砾或角砾	20 ~ 2	透水性大，无粘性，毛细水上升高度不超过粒径大小
砂 粒	2 ~ 0.075	易透水，当混入云母等杂质时透水性减小，而压缩性增加；无粘性，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
粉 粒	0.075 ~ 0.005	透水性小；湿时稍有粘性，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
粘 粒	< 0.005	透水性很小，湿时有粘性，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：漂石、卵石和圆砾有一定的磨圆形状；块石、碎石和角砾有棱角。

很显然，土中所含的各个粒组的相对含量不同，表现出来的土的性质也就不同。通常将粒组的相对含量（各粒组占土总重的百分比）称为颗粒级配。它是确定土的类别、

土的定名及土的工程性质的重要依据。

工程上常用的颗粒分析试验，有筛析法和密度计法等方法。前者适用于粒径大于 0.075mm，小于、等于 60mm 的土，后者适用于粒径小于 0.075mm 的土。如土中同时含有大于和小于 0.075mm 的土粒时，则两种方法并用。

颗粒分析的结果常用如图 2-1 所示的颗粒级配曲线表示。图中横坐标表示粒径（单对数坐标），纵坐标表示小于某粒径的土质量占土总质量的百分比，利用此曲线可求得各粒组的相对含量。例如图 2-1 中的土样 I 砂粒组占土总重的 $(53.5 - 18)\% = 35.5\%$ ，粉粒组占总重的 $(18 - 7.5)\% = 10.5\%$ 。同时，由曲线的坡度还可判定土的均匀程度。如曲线较平缓，则表示粒径大小相差悬殊，颗粒不均匀，土的级配良好；如曲线较陡峻，则表示粒径大小相近，颗粒均匀，土的级配不好。

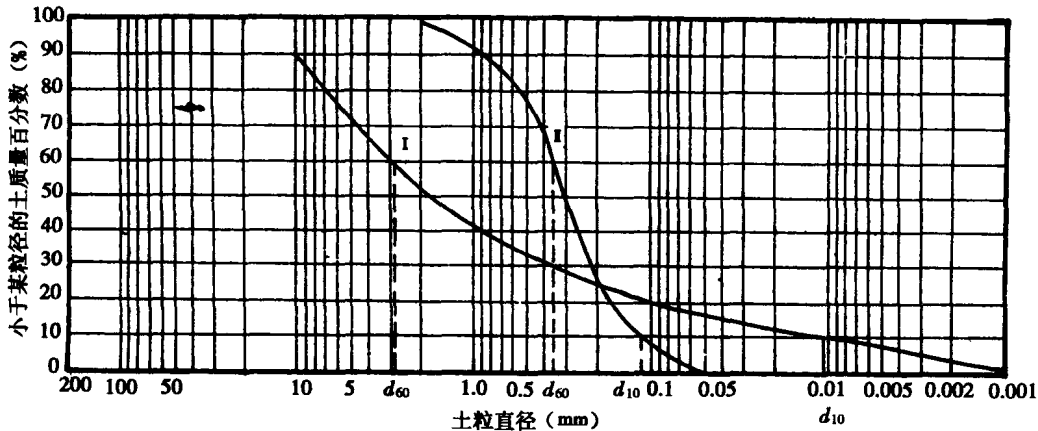


图 2-1 粒径级配曲线

在工程上常采用不均匀系数 C_u 来衡量土的级配。

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

式中： d_{60} ——限定粒径，颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的 60%；

d_{10} ——有效粒径，颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土含量占总质量的 10%。

C_u 越大，说明曲线越平缓，土粒越不均匀， C_u 越小，曲线越陡峻，土粒越均匀。工程上把 $C_u < 5$ 的土看成级配不好的土； $5 \leq C_u \leq 10$ 的土看成级配中等的土； $C_u > 10$ 的土看成级配良好的土，由于粗粒间的孔隙被细粒填充，孔隙较少，土较密实，这样的土工程性质就好。图 2-2 为不同级配土的孔隙示意。

〔例 2-1〕 分别计算图 2-1 中土样的不均匀系数，并判定属何种级配。

解：1. 土样 I，由图查得 $d_{60} = 3$ ， $d_{10} = 0.01$ 由不均匀系数公式：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{3}{0.01} = 300 > 10$$

因 $C_u > 10$ ，故属级配良好的土。

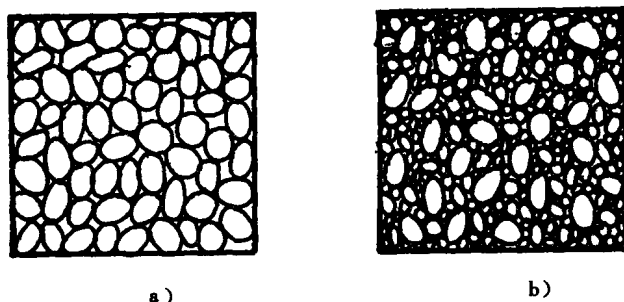


图 2-2 不同级配土的孔隙

a) 土的级配不好 b) 土的级配良好

2. 土样Ⅱ，由图查得 $d_{60} = 0.36$ ， $d_{10} = 0.11$

$$Cu = \frac{0.36}{0.11} = 3.27 < 5$$

因 $Cu < 5$ ，故属级配不好的土。

由计算结果与图 2-1 中曲线可以明显看出当 Cu 大时曲线较平缓，当 Cu 小时曲线较陡峭。

(二) 土粒的矿物成分组成

土粒的主要矿物成分大致可归纳成如下类别：

1. 原生矿物 原生矿物是岩石经物理风化后破碎而成的颗粒，其母岩矿物成分不变，如石英、长石、云母等，原生矿物的性质较为稳定。

2. 次生矿物 次生矿物是岩石经化学风化后而成的颗粒，其矿物成分经化学作用形成了新的矿物，如蒙脱土、伊利土、高岭土等。土粒中所含矿物成分不同，其性质也不同。如蒙脱土含量较多的粘粒遇水后会产生强烈膨胀，而失水后又会产生收缩，土的性质不稳定。

3. 有机质 风化作用的进一步发展往往有生物作用参与，形成造壤，使土中增加了有机质成分。有机质成分视有机残余物的腐化分解程度可分为泥炭和腐殖质。有机残余物仅经低度分解时称为泥炭。当有机残余物已经完全分解时，就称为腐殖质。有机质都是亲水性的。土中的有机质含量多，将对土产生不良影响，可使土具有强烈的吸水性、可塑性、显著的膨胀性、过大的压缩性以及不良的渗透性等不利于工程的性质。

二、土的液相

土的三相组成中，液相主要是水。水分子具有很高的极性，而矿物颗粒特别是粘土矿物具有极为强烈的亲水性，所以，土中固体颗粒与水分子之间便产生了极其复杂的电化学作用，致使水成为土的重要组成部分之一。

土中水可有不同的存在形态，其存在形态可分为三种，即固态的冰、气态的水蒸气及液态的水。水蒸气一般对土的性质影响不大，故不予讨论，冰对土的性质影响将在第八章中阐述，本章重点介绍液态水。

液态水可分为化学结合水、表面结合水及自由水。化学结合水是土的固体颗粒的组

成部分，其对土性质的影响是通过矿物颗粒表现的，故液态水主要是指表面结合水和自由水两大类。

（一）表面结合水

矿物颗粒表面一般带负电荷，能吸引水分子溶液中的游离阳离子于土粒表面，从而形成土粒周围的结合水膜。结合水膜分两层，一层紧附于矿物表面上，受到吸力极大，称为强结合水（吸着水），强结合水的性质接近于固体，具有极大的粘滞性、弹性和抗剪强度，受外力不转移，在 105℃ 温度下可以蒸发掉。粘土中仅含强结合水时呈固体状态。砂土也能有很少一点强结合水，仅含强结合水时砂土呈散粒状态。另一层为扩散层，受到吸力较小，称为弱结合水（薄膜水），其性质呈粘滞状态，在外力作用下可以变形。弱结合水对粘性土的影响最大，砂土可认为不含弱结合水。

（二）自由水

自由水是结合水膜之外的水，自由水能够在重力作用下移动，也能在表面张力作用下移动。按其移动所受作用力的不同，可分为重力水和毛细水两种。土中含有自由水时，可呈流动状态。

三、土中气相

土中空气构成土的气相，它存在于土中孔隙未被水所占据的地方。在粗粒土中常有与大气连通的自由气体，在土受力变形时能很快逸出，故一般不影响土的性质。在细粒土中常有与大气隔绝的封闭气体，土受压时，封闭气体体积压缩，卸荷后体积又恢复到原状，封闭气体使土的弹性变形增加而透水性减少。

四、土的结构

土粒或土粒集合体的大小、形状、相互排列与连结等综合特征，称为土的结构，土的结构可分为单粒结构和海绵结构两大类。

由地层中取出的土样，如能保持原有的结构及含水量不变，在工程上则称为原状土。如土样的结构已受到人为的破坏或含水率发生变化，则称为扰动土。具有海绵结构的土称为有结构性土或结构土。粘性土是具有结构性的土，而砂土和碎石土则不具有结构性。对于结构性土的天然结构一旦被扰动破坏，其力学性质往往变差，压缩增大而强度降低。因此，对于结构性的土在取样试验和施工时，都应避免破坏其结构性，以免试验数据不准或降低土的强度。

第二节 土的物理性质指标

一、土的三相简图

土中三相比例指标，反映着土的不同的物理状态：稍湿或很湿、疏松或密实，这些指标是评定土的工程性质的重要依据。

在计算土的物理指标时，常采用三相简图来直观地表示它们之间的相互比例关系，如图 2-3。

由于土中气体的质量比其它两部分质量小得多, 故在工程上通常忽略不计, $m_g = 0$ 。

(一) 土的质量密度

在天然状态下, 单位体积土的质量, 也可简称为密度。

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (2-2)$$

式中: ρ_0 ——土的质量密度 (g/cm^3);

m_0 ——天然状态下土的质量 (g);

V ——土的体积 (cm^3)。

(二) 土的含水率

土中水的质量与颗粒质量之比的百分率。

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 \quad (2-3)$$

式中: w ——土的含水率 (%);

m_w ——水的质量 (g);

m_d ——干土的质量 (g)。

土的含水率表示土的湿度, 含水率与湿度成正比, 一般来说, 含水率越高, 土的工程性质就越差。含水率对粗粒土影响较小, 对细粒土影响较大, 尤其是对粘性土影响极大。随着含水率的增加, 土的物理状态可由坚硬状态转变为可塑状态, 甚至为流塑状态。含水率的变化范围较大, 一般来说, 同类土, 当其含水率增大时, 其强度就会降低。

(三) 土的比重

土颗粒在绝对密实状态下单位体积的质量与 4°C 纯水密度之比。

$$G_s = \frac{m_d}{V_d} \cdot \frac{1}{\rho_w} \quad (2-4)$$

式中: G_s ——土的比重;

m_d ——干土质量 (g);

V_d ——干土的体积 (cm^3);

ρ_w —— 4°C 纯水的密度, $\rho_w = 1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

以上 3 个物理指标是直接由实验方法确定的, 通常叫做实验指标。已知这 3 个指标就可用三相比例关系公式导出下面一些指标。

在地基基础工程上常采用重力密度作为土的物理指标, 由密度指标可以导出。

(四) 土的重力密度

在自然状态下, 单位体积土的质量乘以重力加速度称为土的重力密度, 或为单位体积土的重力, 也可简称为重度。

$$\gamma = \frac{m_0}{V} \cdot g \quad \text{或} = \frac{g_0}{V} \quad (2-5)$$

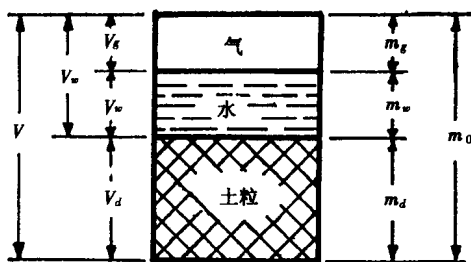


图 2-3 土的三相简图

m_g ——土中气体的质量 m_w ——土中水的质量

m_d ——土中颗粒的质量 m_0 ——土的总质量

V_g ——土中气体所占体积 V_w ——土中水所占体积

V_v ——土中孔隙所占体积 V_d ——土中颗粒所占体积

V ——土的总体积

式中： γ ——天然土的重力密度 (kN/m^3)；

g ——重力加速度 (m/s^2)；

g_o ——天然土的重力 (kN)。

通常土的重度越大，土越密实。

(五) 干土的重力密度

单位体积内土颗粒的重力，也可简称为干土重度。

$$\gamma_d = \frac{m_d}{V} \cdot g \quad \text{或} = \frac{g_d}{V} \quad (2-6)$$

式中： γ_d ——干土重力密度 (kN/m^3)；

g_d ——土颗粒的重力 (kN)。

干土重度也可在已知土的重度和含水率时，由下式计算。

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (2-7)$$

工程上常以干土重度来控制土的夯实质量标准。

(六) 土的饱和重力密度

土中孔隙完全被水充满时，单位体积土的重力为土的饱和重力密度，简称饱和重度。

$$\gamma_M = \frac{g_d + V_v \cdot \gamma_w}{V} \quad (2-8)$$

式中： γ_M ——土的饱和重力密度 (kN/m^3)；

V_v ——土的孔隙体积 (m^3)；

γ_w ——水的重力密度， $\gamma_w = \rho_w \cdot g$ ，也可近似地取 $\gamma_w = 10 \text{kN/m}^3$ 。

(七) 土的浮重力密度

当土浸入水中时，扣除水的浮力影响的有效重力密度，可简称为浮重度。

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w \quad (2-9)$$

式中： γ' ——土的浮重力密度 (kN/m^3)。

(八) 土的孔隙比

土中孔隙体积与颗粒体积之比。

$$e = \frac{V_v}{V_d} \quad \text{或} = \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{\gamma} - 1 \quad (2-10)$$

式中： e ——土的孔隙比。

孔隙比是表示土的密实程度的一个物理指标，尤其对无粘性土，往往用其决定工程性质的好坏。一般天然状态的土，若 $e < 0.6$ ，可作为建筑物的良好地基。

(九) 土的饱和度

土中水的体积与孔隙体积之比的百分率。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 \quad \text{或} = \frac{w \cdot G_s}{e} \quad (2-11)$$

式中： S_r ——土的饱和度 (%)；

V_w ——土中水的体积 (m^3)。

饱和度说明土的潮湿程度，如 $S_r = 100\%$ ，说明土孔隙内全部充水，土是饱和的。当 $S_r = 0$ 时，土则是完全干燥的。

粉砂、细砂的含水饱和程度，对其工程性质具有一定的影响，随饱和度的增加，粉砂、细砂土可由原微弱粘聚状态变为散粒状态。另外，在填土压实过程中，对于饱和土就不可能将其压实，其工程性质极差。在评价粉砂、细砂土时，除确定其密实度外，还应确定其饱和度。

土的三相物理性质指标常用换算公式，见表 2-2。

表 2-2 土的三相物理指标常用换算公式

指标名称	符 号	表 达 式	单 位	换 算 公 式
重 度	γ	$\gamma = \frac{G_o}{V}$	kN/m ³	$\gamma = \frac{(G_s + s_r \cdot e) \gamma_w}{1 + e}$ $\gamma = \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{1 + e}$
比 重	G_s	$G_s = \frac{m_d}{V_d} \cdot \frac{1}{\rho_w}$		$G_s = \frac{S_r e}{w}$
含水率	w	$w = \frac{G_w}{G_d} \cdot 100$	%	$w = \frac{S_r e}{G_s} \cdot 100$ $w = \left(\frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 \right) \cdot 100$
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_d}$		$e = \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{\gamma} - 1$ $e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$	%	$S_r = \frac{w G_s}{e} \cdot 100$
干土重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{G_d}{V}$	kN/m ³	$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$ $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$
饱和重度	γ_M	$\gamma_M = \frac{G_d + V_v \cdot \gamma_w}{V}$	kN/m ³	$\gamma_M = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e}$
浮重度	γ'	$\gamma' = \gamma - \gamma_w$	kN/m ³	$\gamma' = \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1 + e}$

注：换算公式中含水量和饱和度均用小数代入。

〔例 2-2〕 某原状土样重度 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ，比重 $G_s = 2.60$ ，含水率 $w = 27\%$ ，试求土的孔隙比 e 、饱和度 S_r 、干土重度 γ_d 。

解：按公式 (2-10) 求 e

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{\gamma} - 1 \\
 &= \frac{2.6 \times 10(1 + 0.27)}{18} - 1 \\
 &= 0.83
 \end{aligned}$$

按公式 (2-11) 求 S_r

$$S_r = \frac{G_s w}{e} \cdot 100 = \frac{2.6 \times 0.27}{0.83} \times 100 \\ = 85\%$$

按公式 (2-7) 求 γ_d

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{18}{1 + 0.27} = 14.2 \text{ kN/m}^3$$

〔例 2-3〕 上述指标也可利用三相图进行计算。见图 2-3。

解：由 $\gamma = \frac{g_o}{V}$ 设 $V = 1$

$$g_o = \gamma \cdot V = 18 \text{ kN}$$

按含水量的定义

$$g_w = w g_d = 0.27 g_d$$

按三相图图 2-3

$$g_w + g_d = g_o$$

则

$$0.27 g_d + g_d = 18;$$

故

$$g_d = \frac{18}{1.27} = 14.2 \text{ kN}$$

$$g_w = g_o - g_d = 18 - 14.2 = 3.8 \text{ kN}$$

按比重定义

$$G_s = \frac{g_d}{V_d} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$$

$$V_d = \frac{g_d}{G_s} \cdot \frac{1}{\gamma_w} = \frac{14.2}{2.6 \times 10} = 0.546 \text{ m}^3$$

按水的重度定义

$$\gamma_w = \frac{g_w}{V_w}$$

$$V_w = \frac{g_w}{\gamma_w} = \frac{3.8}{10} = 0.38 \text{ m}^3$$

因为

$$V_s = V - (V_d + V_w) = 1 - (0.546 + 0.38) \\ = 0.074 \text{ m}^3;$$

则

$$V_v = V_w + V_g = 0.38 + 0.074 = 0.454 \text{ m}^3$$

可由定义得：

$$e = \frac{V_v}{V_d} = \frac{0.454}{0.546} = 0.83; S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 = \frac{0.38 \times 100}{0.454} = 84\%;$$

$$\gamma_d = \frac{g_d}{V} = \frac{14.2}{1} = 14.2 \text{ kN/m}^3$$

第三节 地基土的分类及物理状态

在《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中，将建筑地基分成 6 大类：岩