

理论性 实践性 快速学习地基基础设计必备

看范例快速学习 地基基础设计

《看范例快速学习地基基础设计》编委会 编

- 内容实用 全面掌握设计知识
- 案例典型 快速提高设计水平



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

看范例快速学习地基基础设计

《看范例快速学习地基基础设计》编委会 编

机械工业出版社

本书按照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)进行编写,主要包括土的物理性质及分类、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、建筑场地的工程地质勘察、天然地基上浅基础的设计、桩基础、软弱地基处理、区域性地基等内容。理论结合范例,深入浅出,可帮助读者快速学习地基基础设计。

本书可作为地基基础设计相关技术人员快速学习参考用书,也可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

看范例快速学习地基基础设计/《看范例快速学习地基基础设计》编委会编. —北京:机械工业出版社, 2016. 6

ISBN 978-7-111-54026-7

I. ①看… II. ①看… III. ①地基—基础(工程)—建筑设计
IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 131780 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:关正美 责任编辑:关正美

责任校对:张薇 封面设计:张静

责任印制:乔宇

北京富生印刷厂印刷

2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.5 印张·400 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-54026-7

定价:59.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

本书编委会名单

主任 沈 宇

编委	方明科	李金凤	耿保池	刘凤珠	蔡泽森
	王忠礼	王 冰	贺训珍	刘雪兵	陈 龙
	李俊华	段 坤	汤清平	玄志松	谢振奋
	王玉松	张建波	谢慧平	莫 骄	翟红红

前 言

我国修订的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)已于2012年8月1日开始实施。新版地基基础规范反映了近十年来我国地基基础实践经验和科研成果,较“2002规范”在技术水平上有了较大的提高,内容更加充实和完善。

本书根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)系统阐述了土力学的基本理论和地基基础的常用设计方法,结合地基基础设计的相关规定提供地基基础设计的工程设计实例进行解析,其目的是使建筑结构设计人员提高解决具体问题的能力。

书内所有术语、符号和公式均依据现行规范,如《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2014)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)、《建筑桩基检测技术规范》(JGJ 106—2014)等。

在编写本书时,参考了一些公开发表的文献,谨向这些作者表示感谢。

由于编者水平所限,书中可能存在不足和疏漏之处,请读者批评指正。

本书编委会

目 录

前 言

第一章 土的物理性质及分类	(1)
第一节 基础知识	(1)
第二节 土的构成及其构造	(2)
第三节 土的物理性质指标	(6)
第四节 土的物理状态指标	(10)
第五节 土的压实性与渗透性	(13)
第六节 地基岩土的工程分类	(15)
第七节 岩土野外鉴别方法	(20)
第二章 地基中的应力计算	(22)
第一节 土体自重应力的计算	(22)
第二节 基底压力的计算	(24)
第三节 水平荷载作用下地基中应力的计算	(28)
第四节 竖向荷载作用下地基附加应力的计算	(30)
第三章 土的压缩性与地基沉降计算	(33)
第一节 土的压缩性	(33)
第二节 地基计算	(38)
第三节 地基最终沉降量的计算	(51)
第四节 地基沉降与时间的关系	(59)
第五节 建筑物沉降观测与地基容许变形值	(62)
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	(64)
第一节 土的抗剪强度与极限平衡条件	(64)
第二节 土的抗剪强度试验方法	(67)
第三节 不同排水条件下的剪切试验	(70)
第四节 地基的临塑荷载与临界荷载	(72)
第五节 地基的破坏形式	(74)
第六节 深基础地基的极限承载力	(75)
第五章 土压力与土坡稳定	(78)
第一节 土压力的类型及影响因素	(78)

第二节	静止土压力的计算	(79)
第三节	朗肯土压力理论	(81)
第四节	库伦土压力理论	(86)
第五节	特殊情况下的土压力计算	(88)
第六节	挡土墙的设计	(89)
第七节	边坡工程稳定性分析	(94)
第八节	(基坑) 支护结构	(99)
第六章	建筑场地的工程地质勘察	(101)
第一节	工程地质勘察概述	(101)
第二节	工程勘察的内容	(103)
第三节	工程地质测绘与调查	(107)
第四节	工程地质勘察报告	(109)
第五节	基槽检验与地基层部处理	(110)
第七章	天然地基上浅基础的设计	(112)
第一节	地基基础设计概述	(112)
第二节	浅基础设计的类型	(115)
第三节	浅基础设计的原则与步骤	(120)
第四节	基础埋置深度的确定	(121)
第五节	无筋扩展基础设计	(125)
第六节	扩展基础设计	(131)
第七节	高层建筑筏形基础设计	(138)
第八节	减少基础不均匀沉降的措施	(146)
第八章	桩基础	(148)
第一节	桩基础概述	(148)
第二节	单桩竖向承载力的确定	(151)
第三节	单桩水平承载力的确定	(163)
第四节	群桩基础设计	(167)
第五节	桩基础设计	(178)
第九章	软弱地基处理	(194)
第一节	软弱地基处理概述	(194)
第二节	强夯法	(197)
第三节	换土垫层法	(200)
第四节	振冲法	(203)
第五节	土或灰土挤密桩法	(206)
第六节	预压法	(209)
第七节	化学加固法	(213)

第十章 区域性地基 (219)

第一节 区域性特殊土的分类及主要分布 (219)

第二节 软土地基 (221)

第三节 湿陷性黄土地基 (223)

第四节 膨胀土地基 (226)

第五节 红黏土地基 (229)

第六节 地震区的地基基础问题 (231)

附录 附加应力系数 α 和平均附加应力系数 $\bar{\alpha}$ (233)

第一章 土的物理性质及分类

第一节 基础知识

一、土力学的概念

土力学是运用力学基本原理和土工测试技术,研究土的性质、地基土的应力、地基的变形、土的抗剪强度与地基承载力、土的压力及土坡稳定性等内容的一门学科。由于土与其他连续固体介质的根本不同,仅靠具备系统理论和严密公式的力学知识,尚不能描述土体在受力后所表现的性状及由此引起的工程问题,而必须借助经验、现场试验、室内试验辅以理论计算,因此也可以说土力学是一门依赖于实践的学科。

二、地基

土层中附加应力和变形所不能忽略的那部分土层称为地基。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(强度条件与变形条件)。软弱地基的工程性质较差,需经过人工地基处理才能达到设计要求。不需处理而直接利用天然土层的地基称为天然地基;经过人工加工处理才能作为地基的称为人工地基。人工地基施工周期长、造价高,因此建筑物一般宜建造在良好的天然地基上。

三、基础

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。

根据不同的分类方法,基础可以有多种形式,但不论是何种基础形式,其结构本身均应具有足够的承载力和刚度,在地基反力作用下不发生破坏,并应具有改善沉降与不均匀沉降的能力。通常把埋置深度不大(一般小于5 m),只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可以建造起来的基础统称为浅基础(各种单独的和连续的基础)。反之,浅层土质不良,而需把基础埋置于深处土质较好的地层时,就要借助特殊的施工方法,建造各种类型的深基础(桩基础、沉井和地下连续墙等)。

四、地基基础设计的基本原理

地基基础设计是整个建筑物设计的一个重要组成部分。它与建筑物的安全和正常使用有着密切的关系。设计时,要考虑场地的工程地质和水文地质条件,同时也要考虑建筑物的使用要求、上部结构特点和施工条件等各种因素,使基础工程做到安全可靠、经济合理、技术先进和便于施工。

一般认为,地基基础在设计时应考虑的因素有以下几个:

(1) 施工期限、施工方法及所需的施工设备等。

- (2) 在地震区,应考虑地基与基础的抗震。
- (3) 基础的形状和布置,以及与相邻基础和地下构筑物、地下管道的关系。
- (4) 建造基础所用的材料及基础的结构形式。
- (5) 基础的埋置深度。
- (6) 地基土的承载力。
- (7) 上部结构的类型、使用要求及其对不均匀沉降的敏感度。

五、地基基础在建筑工程中的重要性

建筑物的地基、基础和上部结构三部分,虽然各自的功能不同且研究方法相异,然而对一个建筑物来说,在荷载作用下,这三方面却是彼此联系、相互制约的整体。

地基和基础是建筑物的根本,又属于地下隐蔽工程。它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。实践表明,建筑物事故的发生,很多与地基基础有关,而且地基基础事故一旦发生,补救并非易事。另外,基础工程费用与建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以变动在百分之几到几十。因此,地基及基础在建筑工程中的重要性是显而易见的。工程实践中,虽然地基基础事故屡有发生,但是只要严格遵循基本建设原则,按照勘察-设计-施工的先后顺序,并切实抓好这三个环节,那么地基基础事故一般是可以避免的。

第二节 土的构成及其构造

一、土的成因

岩石经过风化、剥蚀、搬运、沉积等过程后,所形成的各种疏松的沉积物,在建筑工程中都称为“土”。这是土的狭义概念。土的广义概念是将整体岩石也包括在内,但人们一般都使用土的狭义概念。

风化作用与气温变化、雨雪、山洪、风、空气、生物活动等(也称为外力地质作用)密切相关,一般分为物理风化、化学风化和生物风化三种。由于气温变化,岩石胀缩开裂、崩解为碎块的属于物理风化。这种风化作用只改变颗粒的大小与形状,不改变矿物成分,形成的土颗粒较大,称为原生矿物。由于水溶液、大气等因素的影响,使岩石的矿物成分不断溶解水化、氧化、碳酸盐化引起岩石破碎的属于化学风化。这种风化作用使岩石的矿物成分发生改变,土的颗粒变得很细,称为次生矿物。由于动、植物的生长使岩石破碎的属于生物风化,这种风化作用具有物理风化和化学风化的双重作用。

由于成土过程各环节交错反复,成土的自然地理环境复杂多样,因此土的类型与性质是千差万别的。但是在大致相同的地质年代及相似的沉积条件下形成的堆积物往往在成分及性质上是相近的。土的性质一方面取决于原始沉积条件所决定的土粒成分、结构、孔隙中水溶液的性质等,另一方面也取决于沉积以后的经历,如沉积年代的长短、自然地理条件的变迁等都可引起原始沉积物的成分或性质的某些改变。一般沉积年代越为久远,上覆土层重量越大,土压得越密实,由孔隙水中析出的化学胶结物也就越多。因此,老土层比新土层的强度、变形模量要高,甚至由散粒体经过成岩作用又变成整体岩石,如砂土成为砂岩,黏土变成页岩等。目前所见到的土大都是第四纪沉积层,一般都呈松散状态。但第四纪是由距今一百万年前开始的一个

相当长的时期，第四纪早期沉积的土和近期沉积的土，在性质上就有着相当大的区别。这种影响，对黏性土尤为明显。

建筑工程中将土（岩石除外）分为几大类，即碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土。碎石和砂土统称为无黏性土。粉土是既不同于黏性土，又有别于砂土，介乎两者之间的土。不同的自然地理环境对土的性质也有很大影响。我国沿海地区的软土、严寒地区的永冻土、西北地区的湿陷性黄土、西南亚热带的红黏土等，除具有一般土的共性外，还具有自己的特点。

二、土的组成

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相分散体系。固体颗粒构成土的骨架，是三相体系中的主体，水和气体填充土骨架之间的空隙，土体三相组成中每一相的特性及三相比例关系都对土的性质有显著影响。

（一）土的固体颗粒

1. 土的颗粒级配

为了便于研究，将土粒按大小及性质的不同，划分成若干粒组。土的颗粒越小，与水的相互作用就越强烈。粗颗粒和水之间几乎没有物理化学作用，而粒径小于 0.005 mm 的黏粒和胶粒就会受到水的强烈影响，遇水时出现黏性、可塑性、膨胀性等粗颗粒所不具有的特性。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。

工程中常用的粒径分析法有筛分法（适用于粒径大于 0.074 mm 的土）与比重计法（适用于粒径小于 0.074 mm 的土）两种。如土中同时含有粒径大于和小于 0.074 mm 的土粒时，则两种方法并用。

颗粒分析的结果常用如图 1-1 所示的粒径级配曲线表示。图中的纵坐标表示小于某粒径的土粒占土总重的百分比，横坐标表示粒径。粒径级配曲线可以对土的颗粒组成给以明确的概貌，如由图 1-1 中曲线 2 可以看出，所试验的土样含黏粒 44%，粉粒 36%，砂粒 20%。

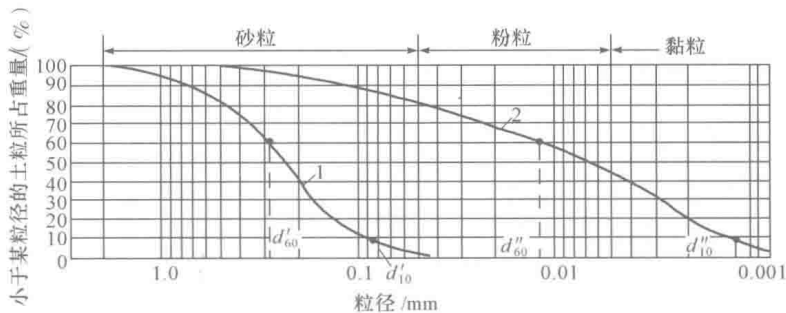


图 1-1 粒径级配曲线

若级配曲线平缓，表示土中含有各种大小粒径的土粒，颗粒不均匀，级配良好；曲线陡峻则表示土粒均匀，级配不好。具体可用不均匀系数 K_u 来衡量

$$K_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{1-1}$$

式中 d_{60} ——限定粒径，土中小于该粒径的颗粒重占土总重的 60%；

d_{10} ——有效粒径，土中小于该粒径的颗粒重占土总重的 10%。

工程上把 $K_u < 5$ 的土看做是级配均匀； $K_u > 10$ 的土看做是级配良好，土中的大孔隙可为细颗粒所填充，因而适于用作填方土料及混凝土工程的砂石料。

2. 土粒的矿物成分

土粒的矿物成分决定于母岩的矿物成分及风化作用。粗大的土粒往往是岩石经物理风化作用形成的原生矿物，其矿物成分与母岩相同，常见的如石英、长石、云母等，一般砾石、砂等都属此类。这种矿物成分的性质较稳定，由其组成的土表现出无黏性、透水性较大、压缩性较低等性质。细小的土粒主要是岩石经化学风化作用形成的次生矿物，其矿物成分与母岩完全不同，如黏土矿物的蒙脱石、伊利石、高岭石等。次生矿物性质不稳定，具有较强的亲水性，遇水膨胀，脱水收缩。上述三种黏土矿物的亲水性依次减弱，蒙脱石最强，伊利石次之，高岭石最弱。

(二) 土中的水

1. 结合水

结合水是借土粒的电分子引力吸附在土粒表面上的水，对土的工程性质影响极大。由于土粒与其周围介质（包围它的气体或液体）间发生物理化学变化，使土粒表面带电（多为负电），并在周围的空間内形成电场，将介质中的水分子〔为极性分子，如图 1-2a 所示〕及游离阳离子吸附于表面，从而形成结合水膜，如图 1-2b 所示。

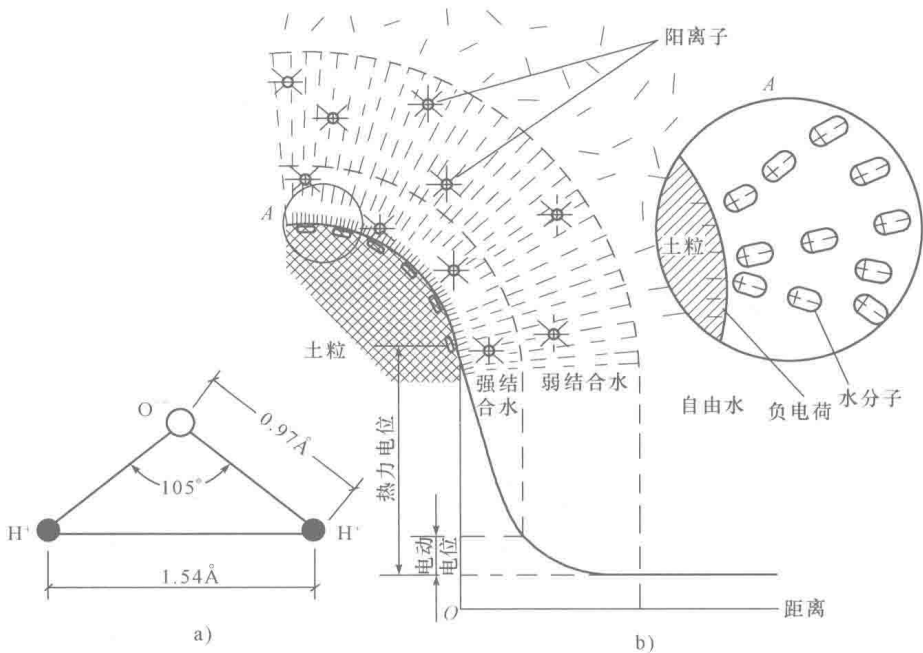


图 1-2 黏土矿物和水分子的相互作用
a) 极性水分子示意图 b) 土粒表面的结合水膜

2. 自由水

自由水处于土粒的电分子吸力以外，受重力法则控制，不能抗剪，密度在 1 左右。自由水又分两种：位于地下水位以下的水称为重力水，因为它仅受本身的重力作用而运动；位于地下水位以上的水，除重力外还受毛细作用，称为毛细水。土粒间的孔隙是互相连通的，地下水沿着这个不规则的通道上升，形成土中的毛细水上升带。毛细水的上升高度：碎石土（一般认为粒径大于 2 mm 的土粒）无毛细现象；砂土 2 m 以下；粉土及黏性土 2 m 以上。

(三) 土中的气体

土中的气体存在于土孔隙中未被水占据的部位。在粗粒的沉积物中有与大气相联通的空气，它对土的力学性质影响不大。在细粒土中则有与大气隔绝的封闭气泡，使土在外力作用下

的弹性变形增加，透水性减小。

对于淤泥和泥炭等有机质土，由于微生物（嫌气细菌）的分解作用，在土中蓄积了某种可燃气体（如硫化氢、甲烷等），使土层在自重作用下长期得不到压密，而形成高压缩性土层。

三、土的结构和构造

（一）土的结构

1. 单粒结构

单粒结构（图 1-3）为碎石土和砂土的结构特征，这种结构是由土粒在水中或空气中自重下落堆积而成的。因土粒尺寸较大，粒间的分子引力远小于土粒自重，故土粒间几乎没有相互联结的作用，是典型的散粒状物体，简称散体。单粒结构可分为疏松的与紧密的结构。前者颗粒间的孔隙大，颗粒位置不稳定，不论在静载还是动载作用下都很容易错位，产生很大下沉，在振动作用下尤甚（体积可减少 20%）。因此疏松的单粒结构未经处理不宜作为地基。紧密的单粒结构的颗粒排列已接近最稳定的位置，在动、静荷载作用下均不会产生较大下沉，是比较理想的天然地基。

2. 蜂窝结构

蜂窝结构（图 1-4）多为颗粒细小的黏性土所具有的结构形式，有时粉砂也可能有。据研究，粒径在 0.002 ~ 0.02 mm 的土粒在水中沉积时，基本是单个土粒下沉，在下沉途中碰上已沉积的土粒时，由于土粒间的相互分子引力对自重而言已经足够大，因此土粒就停留在最初的接触点上不再下降，而形成很大孔隙的蜂窝状结构。

3. 絮状结构

絮状结构（图 1-5）是颗粒最细小的黏性土所特有的结构形式。粒径小于 0.002 mm 的土粒能够在水中长期悬浮，不因自重而下沉。当在水中加入某些电解质后，颗粒间的排斥力削弱，运动着的土粒凝聚成絮状物下沉，形成类似蜂窝而孔隙很大的结构，称为絮状结构。

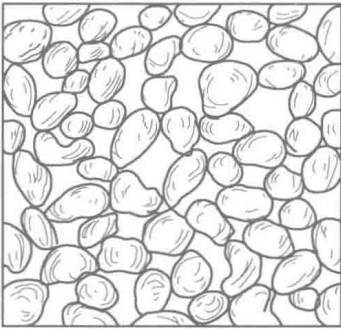


图 1-3 单粒结构

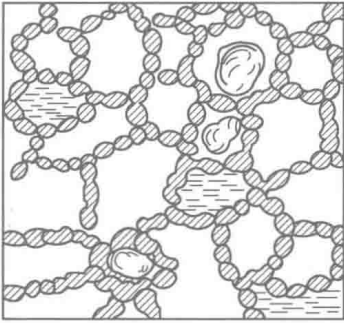


图 1-4 蜂窝结构

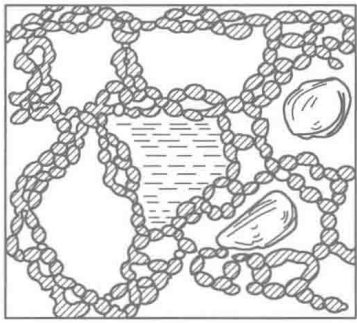


图 1-5 絮状结构

（二）土的构造

土的构造是指土体中各结构单元之间的关系，其主要特点是土的成层性和裂隙性。成层性是指土粒在沉积过程中，由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小等不同，沿竖向呈现出成层特征；裂隙性是指土体被许多不连续的小裂隙所分割，破坏了土的整体性，强度低，渗透性高，工程性质差。有些坚硬和硬塑状态的黏性土具有此种构造。

土的构造类型见表 1-1。

表 1-1 土的构造类型

类 别	内 容
层状构造	层状构造（图 1-6）也称为层理，是大部分细粒土的重要外观特征之一。土层表现为由不同细度与颜色的颗粒构成的薄层交叠而成，薄层的厚度可由零点几毫米至几毫米，成分上有细砂与黏土交互层或黏土交互层等。最常见的层理是水平层理（薄层互相平行，且平行于土层界面），此外还有波状层理（薄层面呈现波状，总方向平行于层面）及斜层理（薄层倾斜，与土层界面有一交角）等
分散构造	分散构造（图 1-7）是指土层中各部分的土粒组合无明显差别，分布均匀，各部分的性质也相近。各种经过分选的砂、砾石、卵石形成较大的埋藏厚度，无明显层次，都属于分散构造。分散构造的土比较接近理想的各向同性体
裂隙状构造	裂隙状构造（图 1-8）是指裂隙中往往充填盐类沉淀，很多坚硬与硬塑状态的黏土具有此种构造。裂隙破坏土的整体性。裂隙面是土中的软弱结构面，沿裂隙面的抗剪强度很低而渗透性很高，浸水以后裂缝张开，工程性质更差
结核状构造	结核状构造（图 1-9）是指在细粒土中明显掺有大颗粒或聚集的铁质、钙质集合体及贝壳等杂物。例如，含砾石的冰碛黏土、含结核的黄土等均属此类。由于大颗粒或结核往往分散，故此类土的性质取决于细颗粒部分，但在取小型试样试验时应注意将结核与大颗粒剔除，以免影响成果的代表性

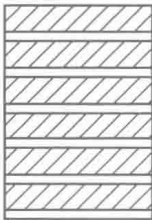


图 1-6 层状构造

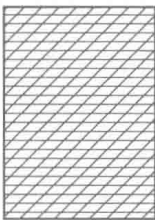


图 1-7 分散构造

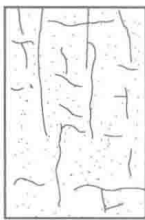


图 1-8 裂隙状构造



图 1-9 结核状构造

第三节 土的物理性质指标

一、土的三相图

土是固、液、气三相的分散系。土中三相组成的比例指标反映着土的物理状态，如干燥或潮湿，疏松或紧密。这些指标是基本的物理性质指标，它们对于评价土的工程性质具有重要的意义。

土的三相本来是混合分布的，为了阐述和标记的方便，将三相的各部分集合起来，画出土的三相示意图，如图 1-10 所示。

二、土的主要物理指标

（一）土的饱和密度和饱和重度

土的饱和密度是指当土的孔隙中充满水时，土中的固体颗粒和水的质量之和与土样的总体积之比，用符号 ρ_{sat} 表示

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$$

(1-2)

土的饱和重度为 $\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} g$ (1-3)

式中 ρ_{sat} ——土的饱和密度；

γ_{sat} ——土的饱和重度；

m_s ——固体部分质量；

g ——重力加速度。

(二) 土的浮密度和浮重度

地下水位以下的土，其固体颗粒受到重力水的浮力作用，此时土中固体颗粒的质量再减去固体颗粒排开水的质量（即减去浮力）与土样的总体积之比，称为浮密度，用符号 ρ' 表示

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w'}{V} \quad (1-4)$$

土的浮重度为

$$\gamma' = \rho' g \quad (1-5)$$

从浮密度和浮重度的定义可知

$$\rho' = \rho_{\text{sat}} - \rho_w \quad (1-6)$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad (1-7)$$

(三) 土的干密度和干重度

土的干密度是土中的固体部分质量与土样总体积之比或土单位体积内的干土质量，用符号 ρ_d 表示

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-8)$$

土的干重度为

$$\gamma_d = \rho_d g \quad (1-9)$$

式中 ρ_d ——土的干密度；

γ_d ——土的干重度。

(四) 土粒相对密度

土粒相对密度是土粒质量与同体积的水（在 4℃ 时）的质量之比，用符号 d_s 表示

$$d_s = \frac{m_s}{m_w} = \frac{V_s \rho_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-10)$$

式中 m_s 、 m_w ——固体、水的质量；

V_s ——固体的体积；

ρ_s ——土粒密度（在 4℃ 时）；

ρ_w ——水的密度（在 4℃ 时）。

(五) 天然土的密度

天然土的密度是土样的总质量与其总体积之比，用符号 ρ 表示

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-11)$$

式中 m 、 V 如图 1-11 所示。

$$\rho = \frac{d_s (1 + w) \rho_w}{1 + e} \quad (1-12)$$

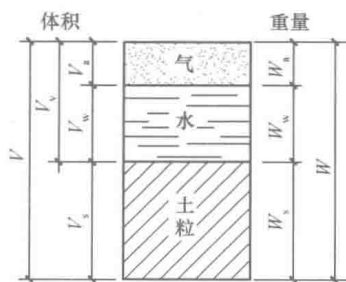


图 1-10 土的三相示意图

图中各符号意义为：

注：V——土的总体积；

V_s ——土中固体颗粒的体积；

V_v ——土中孔隙的体积；

V_w ——土中水所占的体积；

V_a ——土中气体所占的体积；

W——土的总重量；

W_s ——土中固体颗粒的重量；

W_w ——土中水的重量；

W_a ——土中气体的重量（一般认为 $W_a = 0$ ）。

式中 w ——土的天然含水量；

e ——土的孔隙比；

V ——土样的总体积， $V = V_s + V_v$ ，其中 V_v 为土中孔隙的体积， $V_v = V_w + V_a$ ， V_w 、 V_a 分别为水、气体的体积；

m ——土样的总质量， $m = m_s + m_w + m_a$ ，其中 m_s 为固体的质量， m_w 为水的质量， m_a 为气体的质量， m_a 可忽略。

其他符号意义同前。

(六) 土的天然含水量

在天然状态下，土中含水的质量（或重量）与土粒的质量（或重量）之比，称为土的天然含水量，用符号 w 并用百分数表示

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中 m_s ——土中固体部分的质量（重量）。

(七) 孔隙比

孔隙比是土中孔隙体积与固体颗粒体积之比，用符号 e 表示， e 是一个正有理数

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-14)$$

式中 e ——孔隙比；

V_v ——孔隙体积；

V_s ——固体颗粒体积。

(八) 孔隙率

孔隙率是土中的孔隙体积与总体积之比，用符号 n 表示

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-15)$$

式中 n ——孔隙率；

V_v ——孔隙体积；

V ——总体积。

三、土的三相物理性质指标

土的三相指标相互之间具有一定的关系。只要知道其中某些指标，通过简单的计算，就可以得到其他指标。上述各指标中，土粒相对密度 d_s 、含水量 w 、重度 γ 三个指标必须通过试验测定，其他指标可由这三个指标换算得到。其换算方法可用土的三相比比例指标换算（图 1-12）来说明。令固体颗粒体积 $V_s = 1$ ，根据定义即可得出 $V_v = e$ 、 $V = 1 + e$ 、 $W_s = \gamma_w d_s$ 、 $W_w = w \gamma_w d_s$ 、 $W = \gamma_w d_s (1 + w)$ 。据此，可以导出各指标间的换算公式，见表 1-2。

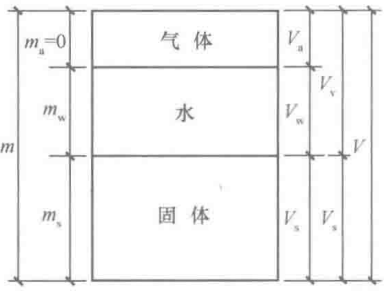


图 1-11 土样三相组成计算

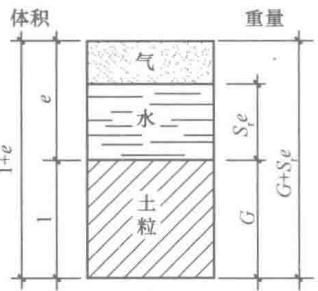


图 1-12 土的三相物理性质指标换算

表 1-2 土的三相物理性质指标常用换算公式

序号	指标名称	符 号	表 达 式	单 位	换 算 公 式	备 注
1	重 度	γ	$\gamma = \frac{W}{V}$	kN/m ³ 或 N/cm ³	$\gamma = \frac{d_s + S_r e}{1 + e}$ $\gamma = \frac{d_s (1 + 0.01w)}{1 + e}$	由试验直接测定
2	相对密度	d_s	$d_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$	—	$d_s = \frac{S_r e}{w}$	
3	含水量	w	$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$	%	$w = \frac{S_r e}{d_s} \times 100$ $w = \left(\frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 \right) \times 100$	
4	孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	—	$e = \frac{d_s \gamma_w (1 + 0.01w)}{\gamma} - 1$ $e = \frac{d_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$	
5	孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100$	%	$n = \frac{e}{1 + e} \times 100$ $n = \left(1 - \frac{\gamma_d}{d_s \gamma_w} \right) \times 100$	
6	饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$	%	$S_r = \frac{w d_s}{e}$ $S_r = \frac{w \gamma_d}{n}$	
7	干重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$	kN/m ³ 或 N/cm ³	$\gamma_d = \frac{d_s}{1 + e}$ $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + 0.01w}$	
8	饱和重度	γ_m	$\gamma_m = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}$	kN/m ³ 或 N/cm ³	$\gamma_m = \frac{d_s + e}{1 + e}$	
9	浮重度	γ'	$\gamma' = \gamma_m - \gamma_w$	kN/m ³ 或 N/m ³	$\gamma' = \gamma_m - \gamma_w$ $\gamma' = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1 + e}$	

【例 1-1】 在某住宅地基勘察中，已知一个钻孔原状土试样结果为：土的密度 $\rho = 1.80\text{g/cm}^3$ ，土粒比重 $G_s = 2.70$ ，土的含水率 $w = 18.0\%$ 。求其余 5 个物理性质指标。

【解】 (1) 绘制三相计算图，如图 1-13 所示。

(2) 令 $V = 1\text{cm}^3$ 。

(3) 已知 $\rho = \frac{m}{V} = 1.80\text{g/cm}^3$ ，

则 $m = 1.80\text{g}$ 。

(4) 已知 $w = \frac{m_w}{m_s} = 0.18$ ，

则 $m_w = 0.18m_s$ ，

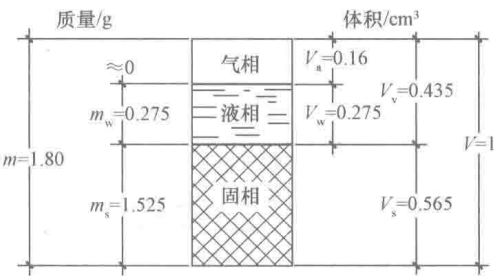


图 1-13 三相计算图