

Foundation Design and Calculation

©郭继武 编著

地基基础设计与算例

(含按计算器程序计算)

中国建筑工业出版社

地基基础设计与算例

(含按计算器程序计算)

◆ 郭继武 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基基础设计与算例/郭继武编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 10
ISBN 978-7-112-18285-5

I. ①地… II. ①郭… III. ①地基-基础(工程)-建筑设计-高等学校-教材②地基-基础(工程)-工程计算-高等学校-教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 161908 号

《地基基础设计与算例》主要是根据新版《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 编写的。内容分为两大部分: 建筑地基基础基本理论和典型例题。它是《混凝土结构设计 with 算例》一书的姊妹篇。

基本理论部分, 共分 12 章。内容包括: 建筑地基基础设计基本规定; 地基岩土的物理性质及分类; 地基中的应力; 地基变形的计算; 土的抗剪强度与地基承载力; 工程地质勘察; 天然地基基础设计; 柱下条形基础和交叉条形基础; 软弱地基; 基槽检验与地基的局部处理; 建筑场地平整土方量的计算; f_x -CG20 计算器介绍和编程方法。

例题部分涵盖了建筑地基基础设计中的典型计算实例, 同时也收入了地基施工中的一些计算内容。每个例题都由手算和按计算程序计算两种方法完成。

本书可作为高等学校土建专业师生参考用书, 也可供结构设计、建筑施工、工程监理等工程技术人员学习参考。

责任编辑: 郭 栋 辛海丽

责任设计: 李志立

责任校对: 陈晶晶 刘梦然

地基基础设计与算例

(含按计算器程序计算)

郭继武 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 字数: 649 千字

2015 年 11 月第一版 2015 年 11 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-18285-5
(27520)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

我国新修订的《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。新版地基基础设计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。

为了满足初学读者对新规范的学习和提高业务水平,笔者参照新版地基基础设计规范有关内容,编写了这本《地基基础设计与算例》。供读者学习参考。

本书共分12章,内容包括:建筑地基基础的设计原则;地基岩土的物理性质和分类;地基中的应力,地基变形的计算;土的抗剪强度与地基承载力;工程地质勘察;天然地基基础设计;柱下条形基础和交叉条形基础;基槽检验与地基的局部处理;软弱地基;建筑场地平整土方量的计算及编程计算器介绍和编程方法。

本书对新规范有些条文作了说明和解释,对有的条文则从不同的角度作了诠释,特别对新版地基基础设计规范新增加的内容,如柱下独立基础受剪承载力计算等,都给出了具体计算公式,并附有一定数量的计算实例,供读者参考。

为了简化计算,书中对地基基础中需经常反复试算的内容,如按应力比法确定压缩层厚度,偏心荷载作用下基础底面尺寸的确定,换土垫层厚度的确定等,都给出了直接算法,克服了反复试算的缺点。

本书在编写过程中,力求做到由浅入深,循序渐进,重点突出,理论联系实际。为了便于读者掌握本书所叙述的基本理论和有关规范条文内容,书中列举了一些有代表性的典型例题。在解题过程中,力求步骤清晰,说明详尽。

为了使读者提高计算能力,本书特别介绍了应用编程计算器解题方法。在第12章中介绍了算法语言和如何应用编程计算器编程。书中全部例题均用手算和按计算程序计算两种方法完成。读者可对照阅读,比较它的异同。

在编写本书时,参考了公开发表的一些文献。仅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。

目 录

第1章 建筑地基基础设计基本规定	1
1.1 地基基础设计等级	1
1.2 地基计算的内容	1
1.3 地基设计的基本原则	2
1.4 地基基础设计对地基勘察的要求	3
1.5 荷载效应不利组合与相应抗力限值	4
第2章 地基岩土的物理性质及分类	6
2.1 土的成因	6
2.2 土的组成	6
2.3 土的物理性质指标	9
2.4 黏性土的塑性	15
2.5 地基岩土的分类及其物理状态	16
2.6 填土的压实和压实系数	21
2.7 土的含水量、密度和击实试验数据计算	25
第3章 地基中的应力	32
3.1 概述	32
3.2 土中自重应力的计算	32
3.3 地基中附加应力的计算	36
3.4 基础底面应力的计算	67
3.5 基础埋置深度对附加应力的影响	72
第4章 地基变形的计算	77
4.1 土的压缩性	77
4.2 地基最终沉降量的计算	83
4.3 地基沉降与时间关系的估算	102
第5章 土的抗剪强度与地基承载力	105
5.1 概述	105
5.2 土的抗剪强度	105
5.3 土的极限平衡理论	106
5.4 土的抗剪强度指标的测定方法	110
5.5 地基临塑压力、临界压力与极限压力	113
5.6 地基承载力特征值的确定	119
第6章 工程地质勘察	130
6.1 工程地质勘察的目的和要求	130

6.2	勘探方法	132
6.3	土的野外鉴别与描述	134
6.4	地下水	137
6.5	岩土工程勘察报告	138
第7章	天然地基基础设计	145
7.1	地基基础设计步骤	145
7.2	基础的类型	145
7.3	基础埋置深度的确定	151
7.4	按一般方法确定基础底面尺寸	156
7.5	按直接计算法确定单向偏心柱下独立基础底面尺寸	170
7.6	按直接计算法确定双向偏心柱下独立基础底面尺寸	197
7.7	无筋扩展基础截面尺寸的确定	204
7.8	配筋扩展基础的构造	205
7.9	墙下条形基础底板厚度和配筋的计算	208
7.10	柱下独立基础底板破坏的形式	211
7.11	柱下独立基础底板厚度的计算	212
7.12	柱下独立基础底板配筋计算	225
第8章	柱下条形基础和交叉条形基础	241
8.1	柱下条形基础	241
8.2	柱下交叉条形基础	301
8.3	柱下条形和交叉条形基础构造	308
第9章	软弱地基	311
9.1	一般要求	311
9.2	建筑措施	311
9.3	结构措施	313
9.4	软弱地基的处理	315
第10章	基槽检验与地基的局部处理	335
10.1	基槽检验	335
10.2	地基的局部处理	338
10.3	地基局部处理实例	342
第11章	建筑场地平整土方量的计算	345
11.1	概述	345
11.2	按方格网法计算平整土方量	345
11.3	计算程序	365
第12章	fx-CG20 计算器介绍和编程方法	370
12.1	fx-CG20 计算器简介	370
12.2	fx-CG20 计算器基本操作	370
12.3	fx-CG20 计算模式和基本设置	372
12.4	变量、运算符与表达式	373

12.5	fx -CG20 计算器的编程语言	374
12.6	列表及其应用简介	387
12.7	矩阵及其应用简介	388
12.8	综合应用题	390
12.9	疑难问题解答	395
附录		397
附录 A	标准贯入试验和轻便触探试验	397
附录 B	土的抗剪强度指标计算方法	399
附录 C	关于沉降计算经验系数 ψ_s 值的确定	404
附录 D	计算程序索引	408
参考文献		410

第 1 章 建筑地基基础设计基本规定

1.1 地基基础设计等级

根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度，将地基基础设计分为甲、乙和丙三个设计等级，设计时应根据具体情况，按表 1-1 选用。

地基基础设计等级 表 1-1

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑物 30 层以上的高层建筑 体型复杂、层数相差超过 10 层的高低层建筑物 大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等） 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的边坡上的建筑物（包括高边坡） 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 位于复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上地下室的基坑工程 开挖深度大于 15m 的基坑工程 周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物 除甲级、丙级以外的基坑工程
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布比较均匀的七层和七层以下民用建筑及一般工业建筑；次要的轻型建筑物 非软土地区且场地条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且开挖深度小于 5.0m 的基坑工程

建筑地基基础划分设计等级的目的在于，对不同设计等级的地基基础将采取不同的设计要求。例如，对于设计等级为甲级的重要的工业与民用建筑物地基基础，若采用桩基，则其单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载荷试验确定；而对于设计等级为丙级的简单场地和地基条件、荷载分布比较均匀的七层和七层以下一般民用建筑基础，若采用桩基，则其单桩竖向承载力特征值可采用静力触探及标贯试验参数确定。再如，对于设计等级为甲级和乙级的建筑的地基基础均应按变形设计；而对于设计等级为丙级的地基基础是否须按变形设计，则视具体情况而定。

1.2 地基计算的内容

在正常的情况下，建筑物的结构与构件在预期内均应满足预定的功能要求，以保证建

筑物所必须具有的可靠性。《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 规定, 建筑结构应满足以下功能要求。

(1) 安全性: 建筑结构应能承受在正常施工和正常使用过程中可能出现的各种作用, 在偶然事件发生时及发生后, 仍能保持必须的整体稳定性;

(2) 适用性: 建筑结构在使用过程中应具有良好的工作性能;

(3) 耐久性: 建筑结构在正常维护条件下, 应能完好地使用到设计所规定的年限。

建筑物地基承受上部结构及基础传来的全部荷载。因此, 地基计算的内容应从保证上部结构的安全性、适用性和耐久性来考虑。

实践和理论分析表明, 为了保证上部结构的承载能力和正常使用, 地基计算应按下列要求进行。

1. 按承载力计算

在进行地基承载力计算时, 传至基础底面上的荷载效应应采用荷载效应的标准组合。土体自重, 按实际重力密度计算。相应的抗力应采用地基承载力特征值。

地基按承载力计算应满足下列条件:

(1) 轴心受压基础

$$p_k \leq f_a \quad (1-1)$$

式中 p_k ——相应于荷载效应的标准组合时, 基础底面处的平均压力值 (kN/m^2);

f_a ——修正后的地基承载力特征值 (kN/m^2)。

(2) 偏心受压基础

除符合式 (1-1) 要求外, 尚应符合下式要求:

$$p_{k\max} \leq 1.2f_a \quad (1-2)$$

式中 $p_{k\max}$ ——相应于荷载效应的标准组合时, 基础底面边缘的最大压力值 (kN/m^2)。

2. 按变形计算

地基在建筑物荷载作用下要产生变形, 变形过大会危及建筑物的安全和正常使用。为了防止出现这种情况, 地基尚应按变形计算, 即应满足下列条件:

$$s \leq w \quad (1-3)$$

式中 s ——地基最终变形值;

w ——地基允许变形值。

计算地基变形时, 传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合, 不应计入风荷载及地震作用。

3. 按稳定性计算

对经常承受水平荷载的高层建筑、高耸结构和挡土墙等, 以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物, 应验算地基的稳定性。

1.3 地基设计的基本原则

1. 所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定。

2. 设计等级为甲、乙级建筑物, 均应按地基变形计算。

3. 表 1-2 所列范围内设计等级为丙级建筑物可不作变形验算, 但有下列情况之一时仍

应作变形验算：

- (1) 地基承载力特征值小于 130kPa，且体型复杂的建筑；
 - (2) 在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；
 - (3) 软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时；
 - (4) 相邻建筑距离近，可能发生倾斜时；
 - (5) 地基内有厚度较大或厚薄不均匀的填土，其自重固结未完成时。
4. 对经常承受水平荷载的高层建筑、高耸结构和挡土墙等，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物尚应验算其稳定性。
5. 基坑工程应进行稳定性验算。
6. 建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时，尚应进行抗浮验算。

可不作地基变形验算设计的设计等级为丙级的建筑物范围 表 1-2

地基主要 受力层的 情况	地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)		$80 \leq f_{ak}$	$100 \leq f_{ak}$	$130 \leq f_{ak}$	$160 \leq f_{ak}$	$200 \leq f_{ak}$	
			≤ 100	≤ 130	≤ 160	≤ 200	≤ 300	
	各土层坡度 (%)		≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	
建筑类型	砌体结构、框架结构 (层数)		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 7	
	单层排 架结构 (6m 柱距)	单 跨	吊车额定起重量 (t)	10~15	15~20	20~30	30~50	50~100
			厂房跨度 (m)	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		多 跨	吊车额定起重量 (t)	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75
			厂房跨度 (m)	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
	烟囱	高度 (m)	≤ 40	≤ 50	≤ 75	≤ 75	≤ 100	
	水塔	高度 (m)	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	
		容积 (m ³)	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000	

注：1. 地基主要受力层是指条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，独立基础底面下为 $1.5b$ ，且厚度均不小于 5m 的范围（二层以下一般的民用建筑物除外）；

2. 地基主要受力层中，如有地基承载力小于 130 kPa 的土地层，表中的砌体承重结构的设计，应符合软土地基的有关规定层数；

3. 表中砌体承重结构和框架承重结构均指民用建筑，对工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合成与其相当的民用建筑；

4. 表中吊车额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大值。

1.4 地基基础设计对地基勘察的要求

地基基础设计前应进行岩土工程勘察，并应符合下列要求：

1. 岩土工程勘察报告应提供下列资料:

(1) 有无影响建筑场地稳定性的不良地质条件及其危害程度;

(2) 建筑物范围内的地层结构及其均匀性, 以及各岩土层的物理力学性质;

(3) 地下水埋藏情况、类型和水位变化幅度及规律, 以及对建筑材料的腐蚀性;

(4) 在抗震设防区应划分场地类别, 并对饱和砂土及粉土进行液化判别;

(5) 对可供采用的地基基础设计方案进行论证分析, 提出经济合理、技术先进的设计方案建议; 提供与设计要求相对应的地基承载力及变形设计参数, 并对设计与施工应注意的问题提出建议;

(6) 当工程需要时, 尚应提供: 深基坑开挖的边坡稳定计算和支护设计所需的岩土技术参数, 论证其对周边环境的影响; 基坑施工降水的有关技术参数及地下水控制方法的建议; 用于计算地下水浮力的设防水位。

2. 地基评价宜采用钻探取样、室内土工试验、触探, 并结合其他原位测试方法进行。设计等级为甲级的建筑物应提供载荷试验指标、抗剪强度指标、变形参数指标和触探资料; 设计等级为乙级的建筑物应提供抗剪强度指标、变形参数指标和触探资料; 设计等级为丙级的建筑物应提供触探及必要的钻探和土工试验资料。

3. 建筑物地基均应进行施工验槽。当地基条件与原勘察报告不符时, 应进行施工勘察。

1.5 荷载效应不利组合与相应抗力限值

地基基础设计时, 荷载效应的不利组合与相应的抗力限值, 可按表 1-3 的规定采用。

地基基础设计时荷载效应不利组合与相应抗力限值

表 1-3

项次	计算内容	荷载效应组合	抗力限值
1	按地基承载力确定基础底面积	按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合, 按式 (1-4) 计算	地基承载力特征值
2	按单桩承载力确定桩数	同上	单桩承载力特征值
3	按变形计算地基	按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合, 不应计入风荷载和地震作用, 按式 (1-5) 计算	地基变形容许值
4	计算挡土墙土压力、地基或滑坡稳定以及基础抗浮稳定	按承载力极限状态下荷载效应的基本组合, 但其分项系数均为 1.0, 按式 (1-6) 计算	挡土墙、地基或滑坡稳定以及基础抗浮稳定容许抗力
5	确定基础或桩基承台高度、支挡结构截面、计算基础或支挡结构内力、确定配筋和验算材料强度时, 上部结构传来的作用效应和相应的基底反力、挡土墙土压力以及滑坡推力	按承载力极限状态下荷载效应的基本组合, 采用相应的分项系数, 按式 (1-6) 或式 (1-7) 计算	结构抗力设计值, 按有关结构设计规范的规定确定
6	验算基础裂缝宽度	按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合, 按式 (1-4) 计算	最大裂缝宽度限值

注: 表中公式编号见下文。

地基基础设计时,荷载组合的效应设计值,应符合下列规定:

1. 正常使用极限状态下标准组合的效应设计值 S_k ,应按下式确定:

$$S_k = S_{Gk} + S_{Q1k} + \psi_{c2} S_{Q2k} + \cdots + \psi_{cn} S_{Qnk} \quad (1-4)$$

式中 S_{Gk} ——永久作用标准值 G_k 的效应;

S_{Qik} ——第 i 个可变作用标准值 Q_{ik} 的效应;

ψ_{ci} ——第 i 个可变作用 Q_i 的组合值系数。

2. 正常使用极限状态下准永久组合的效应设计值 S_q ,应按下式确定:

$$S_q = S_{Gk} + \psi_{q1} S_{Q1k} + \psi_{q2} S_{Q2k} + \cdots + \psi_{qn} S_{Qnk} \quad (1-5)$$

式中 ψ_{qi} ——第 i 个可变作用 Q_i 的准永久值系数。

3. 承载力极限状态下,由可变荷载控制的基本组合的效应设计值 S_d ,应按下式确定:

$$S_d = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \gamma_{Q2} \psi_{c2} S_{Q2k} + \cdots + \gamma_{Qn} \psi_{cn} S_{Qnk} \quad (1-6)$$

式中 γ_G ——永久作用的分项系数;

γ_{Qi} ——可变作用的分项系数。

4. 对由永久作用控制的基本组合,也可采用简化规则,基本组合的效应设计值可按下列式确定:

$$S_d = 1.35 S_k \quad (1-7)$$

式中 S_k ——标准组合的作用效应设计值。

第2章 地基岩土的物理性质及分类

2.1 土的成因

地壳表面的岩石在大气中由于长期受到风、霜、雨、雪的侵蚀和生物活动的破坏作用(风化作用),使其崩解和破碎而形成大小不同的松散物质,这种松散物质就被称为土。风化后残留在原地的土称为残积土,它主要分布在岩石暴露在地面而受到强烈风化的山区和丘陵地带。由于残积土未经分选作用,所以无层理,厚度很不均匀。因此,在残留土地基上进行工程建设时应注意其不均匀性,防止建筑物产生不均匀沉降。如风化后的土受到各种自然力(例如重力、雨雪水流、山洪急流、河流、风力和冰川等)的作用,被搬运到大陆低洼地区或海底而沉积下来,在漫长的地质年代里沉积的土层逐渐加厚,并在自重和外力作用下逐渐压密,这样形成的土就称为沉积土。陆地上大部分平原地区的土都属于沉积土。由于沉积土在沉积过程中地质环境不同,生长年代不一,所以它的物理力学性质有很大差异。如洪水沉积的洪积土,有一定的分选作用,距山区较近的地段,其颗粒较粗,远的地方颗粒较细。由于每次洪水搬运能力不同,所以形成了土层粗细颗粒交错的地质剖面。通常,粗颗粒的土层压缩性较低、承载力高;而细颗粒的土层压缩性高,承载力较低。在沉积土地基上进行工程建设时,应尽量选择粗颗粒土层作为基础的持力层。

土的沉积年代不同,其工程性质将有很大变化,所以,了解土的沉积年代的知识,对正确判断土的工程性质有实际意义。土的沉积年代通常采用地质学中的相对地质年代来划分。所谓相对地质年代,是指根据主要地壳运动和古生物演化顺序,将地壳历史所划分的时间段落。最大的时间单位称为代,每个代分为若干纪,纪分为若干世,世再分为若干期。

大多数的土是在第四纪地质年代沉积形成的,这一地质历史时期是距今较近的时间段落(大约0.025万~100万年)。在第四纪中包括四个世,即早更新世(用符号 Q_1 表示)、中更新世(Q_2)、晚更新世(Q_3)和全新世(Q_4)。

2.2 土的组成

土是一种松散物质,这种松散物质主要是矿物。矿物是指在地壳中具有一定化学成分和物理性质的自然元素或化合物,如石英,云母等。在矿物颗粒之间有许多孔隙,通常孔隙中间有液体(一般是水),也有气体(一般是空气)。所以,在一般情况下,土是由固体颗粒、水和气体三部分(也称为三相)组成。

显然,土的工程性质与组成土的三部分的性质及其之间的比例有关。因此,对这三个部分的性质和它们之间的比例关系应分别加以研究。本节仅叙述固体矿物颗粒、水和气体

的性质。

2.2.1 土中的颗粒

土粒中的矿物成分分为原生矿物和次生矿物，原生矿物就是岩石风化前的矿物成分，如石英、长石、云母等，原生矿物的性质比较稳定，粗的土粒中常含有这些矿物成分；次生矿物是岩石经化学风化后而产生的新的矿物，如蒙脱石、伊利石、高岭石等，极细的黏粒常含有这些次生矿物。土粒中所含矿物成分不同，其性质就不同。如黏粒中蒙脱石含量较多时，则这种土遇水就会强烈膨胀，失水后又会产生收缩，给工程建设带来不利影响。

1. 土中的粒组

自然界中的土都是由大小不同的土粒组成的。大的颗粒粒径有几百毫米，小的颗粒粒径仅几微米。试验表明，随着土的粒径由粗变细，土的性质也会相应地发生很大变化，例如，可使土的透水性由大变小，甚至变为不透水，可以使土由无黏性变为有黏性，等等。因此，为了便于分析和利用土的工程性质，解决工程建设问题，可将性质相近的土粒划分若干粒组，见表 2-1。由表中可见，粒径较大的粒组与水之间几乎没有物理化学作用，而粒径小的粒组，例如黏粒组和胶粒组就受到水的强烈影响，遇水后出现黏性、可塑性等。

土的粒组划分 表 2-1

粒组名称		分界粒径 (mm)	一 般 特 征
漂石或块石颗粒 卵石或碎石颗粒		>200 200~10	透水性大，无黏性，无毛细水，不能保持水分
圆砾或角砾颗粒	粗	20~10	透水性大，无黏性，无毛细水
	中	10~5	
	细	5~2	
砂粒	粗	2~0.5	易透水，无黏性，干燥时不收缩，呈松散状态，不表现可塑性，压缩性小，毛细水上升高度不大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.075	
粉粒	粗	0.075~0.01	透水性小，湿时稍有黏性，干燥时稍有收缩，毛细水上升高度较大，极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
黏粒		0.005~0.002	几乎不透水结合水作用显著，潮湿时呈可塑性，黏性大遇水膨胀，干燥时收缩显著，压缩性大
胶粒		<0.002	

注：1. 漂石和圆砾颗粒均成一定的磨圆形状（圆形或亚圆形），块石、碎石和角砾颗粒都有棱角。
2. 黏粒、粉粒可分别称为黏土粒、粉土粒。

2. 土的颗粒级配

土中所含各粒组的相对含量不同，则表现出来的土的工程性质也就必然不同。为此，工程上常以土中各个粒组的相对含量（各粒组占土粒总重的百分数）表示土中颗粒的组成情况。粒组的相对含量称为土的颗粒级配。它是确定土的名称和选用建筑材料的重要依据。

确定粒组相对含量的方法称为粒径分析法。对于粒径大于 0.075mm 的土采用筛分法；粒径小于 0.075mm 的土采用密度计法。所谓筛分法就是将所要分析的风干分散的代表性土样放进一套筛子（常用每套共计六个筛子，筛孔分别为 200mm、20mm、2mm、

0.5mm、0.25mm 和 0.075mm，另外还有顶盖和底盘各一个）的顶部，当筛子振动时，大小不同的土粒就被筛分开来，直径大于 20mm 的颗粒留在最上边的筛子里，直径小于 0.075mm 的颗粒通过各层筛子，最后落到底盘里，留在每个筛子里的土重除以土的总重再乘以 100%，即可求得各粒组的相对含量。粒径小于 0.075mm 的土采用密度计法测定粒组的相对含量。关于密度计法可参阅《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999。

3. 颗粒级配累积曲线

颗粒分析结果常用图 2-1 的颗粒级配累积曲线表示。图中横坐标（为对数坐标）表示粒径，纵坐标表示小于某粒径的土粒占土总重的百分比，由颗粒级配累积曲线可求得各粒组的相对含量。对于图 2-1 所示的土样，砂粒组占土总量为 $(80-7)\% = 73\%$ 。同时，由曲线的坡度还可以鉴别土的均匀程度。如曲线较平缓，则表示粒径大小相差悬殊，土粒不均匀，即级配良好；如曲线较陡，则表示粒径相差不多，土粒均匀，即级配不良。

在工程上常采用不均匀系数 K_u 来衡量颗粒级配的不均匀程度

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

式中 d_{60} ——土中小于某粒径的土重百分比为 60% 时相应的粒径，又称限定粒径；

d_{10} ——土中小于某粒径的土重百分比为 10% 时相应的粒径，又称有效粒径。

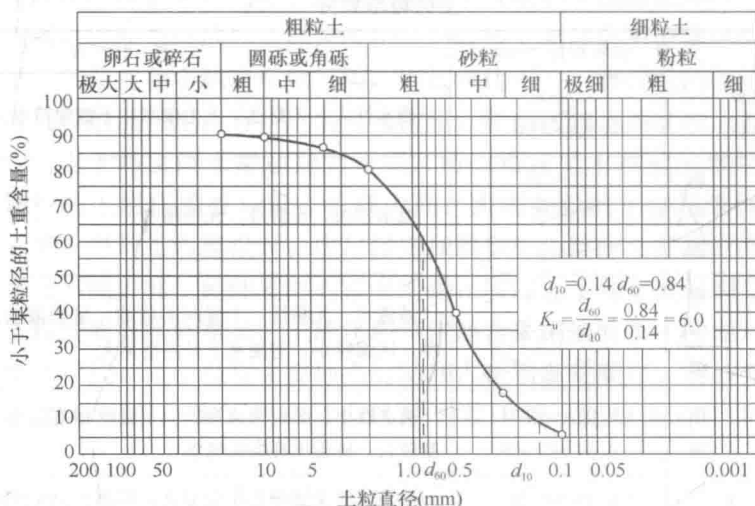


图 2-1 颗粒级配累积曲线

不均匀系数 K_u 愈大，说明曲线愈平缓、土粒愈不均匀。工程中把 $K_u < 5$ 的土看作是级配均匀即级配不良的土； $5 \leq K_u \leq 10$ 的土看作是中等均匀的； $K_u > 10$ 的土看作是不均匀即级配良好的土。级配良好的土，粗粒间的孔隙为细粒所填充，压实后容易获得较大的密实度。这样的土压实后强度高、压缩性小，适于做地基填方的土料。

2.2.2 土中的水

土中水按其性质可分为以下几类（图 2-2）：

1. 结合水

结合水根据其与土颗粒表面结合的紧密程度又可分为吸着水（强结合水）和薄膜水

(弱结合水)。

(1) 吸着水

实验表明,极细的黏粒表面带有负电荷,由于水分子为极性分子,即一端显正电荷,另一端显负电荷,因此水分子就被颗粒表面电荷引力牢固地吸附在其周围而形成很薄的一层水,这种水就称为吸着水,其性质接近于固态,不冻结,相对密度(密度)大于1,具有很大的黏滞性,受外力不转移,在 $100\sim 105^{\circ}\text{C}$ 下被蒸发,这种水不传递静水压力。

(2) 薄膜水

这种水是位于吸着水以外,但仍受土颗粒表面电荷吸引的一层水膜。显然,距土粒表面愈远,水分子的引力就愈小。薄膜水也不能流动,含薄膜水的土具有塑性。它不传递静水压力,冻结温度低,已冻结的薄膜水在不太大的负温下就能融化。

2. 自由水

自由水只受重力的影响,其性质与普通水无异,能传递静水压力,土中含有自由水时呈现出流动状态。

2.2.3 土中气体

土中气体可分为两类:与大气连通的自由气体和与大气隔绝的封闭气体。自由气体在外力作用下能很快逸出,因此它不影响土的性质;封闭气体则会增加土的弹性,减小土的透水性。

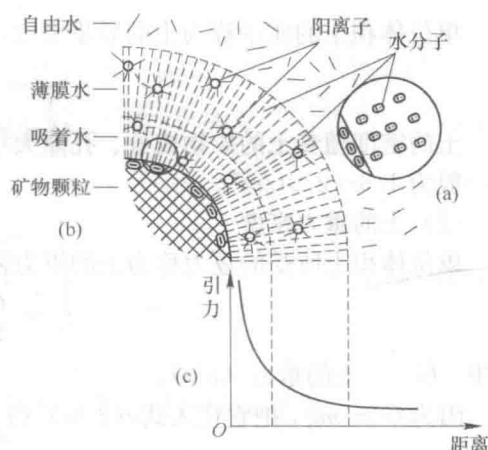


图 2-2 水在土中的形态简图

(a) 水分子在土粒四周定向排列; (b) 土粒与水的相互作用; (c) 土粒电荷引力随距离的变化

2.3 土的物理性质指标

土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的。这三部分之间的不同比例,反映土处于各种不同的状态:稍湿或很湿、密实或松散。它们对于评定土的物理力学性质有很重要的意义。

因此,为了研究土的物理性质,就要掌握土的三个组成部分之间的比例关系。表示这三部分之间关系的指标,就称为土的物理指标。

为了便于说明和计算,用图 2-3 的三相草图表示土的三个组成部分。

气体的质量比其他两部分质量小得多,可以忽略不计。

1. 土的质量密度和重力密度

(1) 土的质量密度

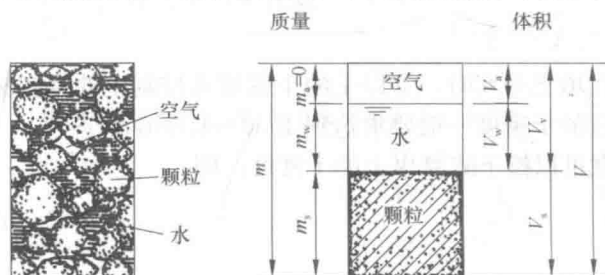


图 2-3 土的三相简图

m —土的总质量; m_s —土中颗粒质量; m_w —土中水的质量; V —土的总体积; V_s —土中颗粒体积; V_w —土中水的体积; V_a —土中孔隙体积; V_a —土中空气的体积

单位体积土的质量称为土的质量密度, 简称土的密度, 用符号 ρ 表示。

$$\rho = \frac{m}{V} (\text{t/m}^3) \quad (2-2)$$

土的密度随着土的矿物成分、孔隙大小和水的含量不同而不同, 天然状态下的土的密度一般为 $1.6 \sim 2.0 \text{ t/m}^3$ 。

(2) 土的重力密度

单位体积土所受的重力称为土的重力密度, 简称土的重度, 用符号 γ 表示。

$$\gamma = \frac{G}{V} (\text{kN/m}^3) \quad (2-3a)$$

式中 G ——土的重力 (kN)。

因为 $G = mg$, 把它代入式 (2-3a) 得

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (2-3b)$$

式 (2-3b) 说明, 土的重度等于土的密度与重力加速度的乘积。

2. 土的含水量

土中水的质量与颗粒质量之比 (用百分数表示), 称为土的含水量, 用符号 w 表示。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (2-4)$$

3. 土粒相对密度 (比重)

土粒单位体积的质量与 4°C 时蒸馏水的密度之比, 称为土粒相对密度 (比重), 用符号 d_s 表示。

$$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (2-5)$$

式中 ρ_s ——土粒密度, 即单位体积土粒的质量;

ρ_w —— 4°C 时纯蒸馏水的密度。

土粒相对密度是无因次的, 它的数值变化范围不大, 一般为 $2.65 \sim 2.75$ 。

上面三个物理指标: ρ 、 w 和 d_s 是直接用试验方法测定的, 通常称为试验指标。已知这三个基本指标就可以用公式算出下面一些指标——计算指标。

4. 土的干密度和干重度

(1) 土的干密度

土的单位体积内颗粒质量称为土的干密度, 用符号 ρ_d 表示。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} (\text{t/m}^3) \quad (2-6a)$$

土的干密度愈大, 表示土愈密实。在填土夯实时, 常以土的干密度来控制土的夯实标准。例如, 房心填土和基础回填土夯实后的干密度一般要求达到 $1.50 \sim 1.65 \text{ t/m}^3$ 。

如果已知土的密度 ρ 和含水量 w , 就可以按下式算出土的干密度, 即

$$\rho_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (2-6b)$$

现将公式 (2-6b) 推证如下

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \times \frac{m}{m} = \frac{\frac{m}{V}}{\frac{m_s + m_w}{m_s}} = \frac{\gamma}{1 + w}$$