

结构设计禁忌与疑难问题对策丛书

# 地基基础设计禁忌 与疑难问题对策

(按规范 GB 50007—2011)

郭继武 编著

中国建筑工业出版社

014002645

TU47  
56

结构设计禁忌与疑难问题对策丛书

# 地基基础设计禁忌与疑难问题对策

(按规范 GB 50007—2011)

郭继武 编著



TU47  
56

中国建筑工程工业出版社



北航

C1688128

014003842

图书在版编目 (CIP) 数据

地基基础设计禁忌与疑难问题对策/郭继武编著.  
北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 5  
(结构设计禁忌与疑难问题对策丛书)  
ISBN 978-7-112-15181-3

I. ①地… II. ①郭… III. ①地基-基础(工程)-建筑  
设计-问题解答 IV. ①TU47-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 038785 号

本书根据《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 编写而成。全书共分 7 章, 主要内容包括: 建筑物地基基础的设计基本规定, 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, 挡土墙设计与计算, 天然地基基础设计等。

本书采用问答形式, 对建筑地基基础设计与计算中的一些问题作了阐述, 对《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 条文作了必要的解释。

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等都给出了直接计算法, 克服了反复试算的缺点。

为了便于读者掌握本书所叙述的基本理论知识和规范有关条文内容, 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。

本书供建筑结构设计人员、施工图审查人员使用, 大中专院校师生, 施工和监理等技术人员学习参考。

\* \* \*

责任编辑 郭 栋  
责任设计 张 虹  
责任校对 肖 剑 刘 钰

结构设计禁忌与疑难问题对策丛书  
地基基础设计禁忌与疑难问题对策

(按规范 GB 50007—2011)

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

北京市书林印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 字数: 386 千字

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月第一次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-15181-3

(23280)

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设计、施工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。

为了满足广大读者对新规范的学习,参照新版地基基础规范有关内容,编写了这本《地基基础设计禁忌与疑难问题对策》。

本书共分7章,内容包括:建筑物地基基础的设计基本规定,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,挡土墙设计与计算,天然地基基础设计等。

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,例如,规范5.2.5条规定:“当偏心距 $e$ 小于或等于0.033基础宽度时,可按下式计算地基承载力特征值: $f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k$ ”。实际上,该公式的适用条件 $e \leq 0.033b$ 就是基底最小压力与最大压力之比 $\xi \geq p_{\min} / p_{\max} = 0.67$ 的条件。如满足这一条件,则验算偏心受压基础承载力条件 $p_{\max} \leq 1.2 f_a$ 将不起控制作用,而由轴心受压基础条件起控制作用。另外,对新版地基基础规范新编入的一些重要公式进行了推导,如“地基土回弹再压缩变形量的计算”公式就作了推演。

为了简化计算,书中对地基基础中需经常反复试算的内容,特别是偏心荷载作用下基础底面尺寸的确定,给出了直接算法,克服了反复试算的缺点。

书中对使用编程计算器解题的方法和步骤作了简要介绍。附录中给出了按链杆法计算弹性地基梁的计算程序和算例,供读者学习参考。

采用编程计算器计算建筑结构构件和地基基础的更多的内容,可参见参考文献[19]、[20]和[21]。

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知识和规范有关条文内容,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。

在编写本书时,参考了公开发表的一些文献。仅向这些作者表示衷心感谢。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 建筑物地基基础的设计基本规定 .....	1
1-1 不了解地基基础设计等级是怎样划分的? 为什么要划分设计等级? .....	1
1-2 地基计算都包括哪些内容? .....	1
1-3 不知道地基设计的基本原则是什么? .....	2
1-4 地基基础设计对地基勘察有何要求? .....	3
1-5 地基基础设计时怎样确定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 土是怎样形成的? .....	6
2-2 勘探报告中符号 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 和 $Q_4$ 表示何意? .....	6
2-3 土是由哪几部分组成的? .....	6
2-4 什么是土的粒组、颗粒级配和颗粒级配曲线? .....	7
2-5 土粒中含有哪些矿物成分? .....	8
2-6 土中水是怎样分类的? .....	9
2-7 土中气体是怎样分类的? .....	9
2-8 什么是土的物理性质指标? .....	9
2-9 什么是黏性土的塑限、液限、塑性指数和液性指数? .....	14
2-10 地基岩土分类概念模糊 .....	15
2-11 什么是土的物理状态? .....	17
第 3 章 地基中的应力 .....	21
3-1 为什么要掌握土中应力的计算? .....	21
3-2 怎样计算土的自重应力? .....	21
3-3 怎样计算土中附加应力? .....	24
3-4 怎样计算基础底面的应力? .....	42
3-5 不知如何计算基础底面附加应力? .....	46
第 4 章 地基变形的计算 .....	50
4-1 什么是土的压缩性和固结? .....	50
4-2 怎样进行压缩试验、如何绘制压缩曲线? .....	50
4-3 什么是压缩系数和压缩模量? .....	51
4-4 什么是土的回弹曲线和再压缩曲线? .....	53

4-5	什么是土的变形模量? .....	54
4-6	变形模量与压缩模量之间有何关系? .....	55
4-7	不掌握如何计算地基最终沉降量 .....	56
4-8	如何确定地基压缩层厚度? .....	63
4-9	怎样计算地基回弹和再压缩变形量? .....	68
4-10	如何估算地基沉降与时间关系? .....	72
4-11	什么是地基变形特征? .....	74
4-12	怎样确定建筑物的地基变形允许值? .....	74
<b>第 5 章 土的抗剪强度与地基承载力 .....</b>		<b>76</b>
5-1	为什么要研究土的抗剪强度? .....	76
5-2	怎样确定土的抗剪强度? .....	76
5-3	怎样建立土的极限平衡条件? .....	77
5-4	怎样测定土的抗剪强度指标? .....	81
5-5	什么是地基临塑压力、临界压力与极限压力? .....	84
5-6	不会确定地基承载力特征值 .....	89
<b>第 6 章 挡土墙设计与计算 .....</b>		<b>94</b>
6-1	什么是挡土墙? 它的应用范围如何? .....	94
6-2	不知道作用在挡土墙上的土压力分类 .....	94
6-3	朗金土压力理论有哪些假定? .....	96
6-4	怎样按朗金理论求主动土压力? .....	96
6-5	怎样按朗金理论求被动土压力? .....	99
6-6	库伦土压力理论有哪些假定? .....	101
6-7	怎样按库伦理论计算主动土压力? .....	101
6-8	怎样按库伦理论计算被动土压力? .....	114
6-9	怎样计算填土表面有均布荷载时的土压力? .....	115
6-10	怎样计算墙后多层填土时的土压力? .....	116
6-11	怎样计算墙后填土内有地下水时的土压力? .....	118
6-12	挡土墙有哪些类型、应用范围如何? .....	118
6-13	挡土墙设计包括哪些内容? .....	119
<b>第 7 章 天然地基基础设计 .....</b>		<b>125</b>
7-1	地基基础设计步骤包括哪些内容? .....	125
7-2	基础分为哪些类型? .....	125
7-3	怎样确定基础埋置深度? .....	131
7-4	怎样确定基础底面尺寸? .....	136
7-5	怎样按直接计算法计算单向偏心柱下独立基础底面尺寸? .....	143
7-6	怎样按直接计算法计算双向偏心受压基础底面尺寸? .....	165

7-7	怎样确定无筋扩展基础截面尺寸? .....	170
7-8	配筋扩展基础构造有何要求? .....	172
7-9	怎样确定条形基础底板厚度和配筋? .....	175
7-10	不掌握柱下独立基础底板破坏有哪几种形式? .....	177
7-11	怎样验算柱下独立基础底板受冲切承载力? .....	178
7-12	怎样验算柱下独立基础底板受剪承载力? .....	180
7-13	怎样计算柱下独立基础底板配筋? .....	181
7-14	不知道柱下条形基础有哪几种计算方法? .....	184
7-15	怎样按倒梁法计算地基梁? .....	186
7-16	怎样按文克尔假定-微分方程法计算弹性地基梁? .....	189
7-17	怎样按文克尔假定-差分法计算弹性地基梁? .....	211
7-18	怎样按半无限体弹性地基模型——链杆法计算弹性地基梁? .....	218
7-19	怎样按文克尔假定计算弹性地基上柱下交叉条形基础梁? .....	227
7-20	柱下条形基础和交叉条形基础构造有何要求? .....	234
附录 .....		237
附录 A 标准贯入试验和轻便触探试验 .....		237
附录 B 抗剪强度指标的计算方法 .....		238
附录 C 应用编程计算器计算弹性地基梁 .....		243
参考文献 .....		249

# 第 1 章 建筑物地基基础的设计基本规定

## 1-1 不了解地基基础设计等级是怎样划分的？为什么要划分设计等级？

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 体形复杂、层数相差超过 10 层的高低层连成一体建筑物 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及建筑物 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准贯入试验参数确定。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 地基计算都包括哪些内容？

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,地基计算的基本原则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 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ );

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )。

#### (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 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )。

### 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 不知道地基设计的基本原则是什么?

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, 且体形复杂的建筑;
  - (2) 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)		$80 \leq f_{ak}$	$100 \leq f_{ak}$	$130 \leq f_{ak}$	$160 \leq f_{ak}$	$200 \leq f_{ak}$	
	各土层坡度 (%)		$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	
建筑类型	砌体结构、框架结构 (层数)		$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 6$	$\leq 7$	
	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
		跨	厂房跨度 (m)	$\leq 18$	$\leq 24$	$\leq 30$	$\leq 30$	$\leq 30$
		多跨	吊车额定起重量 (t)	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75
			跨	厂房跨度 (m)	$\leq 18$	$\leq 24$	$\leq 30$	$\leq 30$
	烟囱	高度 (m)	$\leq 40$	$\leq 50$	$\leq 75$	$\leq 75$	$\leq 100$	
	水塔	高度 (m)	$\leq 20$	$\leq 30$	$\leq 30$	$\leq 30$	$\leq 30$	
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 (2 层以下一般的民用建筑队除外);
2. 地基主要受力层中, 如有地基承载力小于 130kPa 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有何要求?

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 地基基础设计时怎样确定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	按承载能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	按承载能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  $S_k$ ，应按式 (1-4) 确定：

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

式中  $S_{Gk}$  ——永久作用标准值  $G_k$  的效应;

$S_{Q_{ik}}$  ——第  $i$  个可变作用标准值  $Q_{ik}$  的效应;

$\psi_{ci}$  ——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  $S_q$ , 应按式 (1-5) 确定:

$$S_q = S_{Gk} + \psi_{q1} S_{Q_{1k}} + \psi_{q2} S_{Q_{2k}} + \cdots + \psi_{qi} S_{Q_{ik}} + \psi_{qn} S_{Q_{nk}} \quad (1-5)$$

式中  $\psi_{qi}$  ——第  $i$  个可变作用  $Q_i$  的准永久值系数。

3. 承载能力极限状态下, 由可变荷载控制的基本组合的效应设计值  $S_d$ , 应按式 (1-6) 确定:

$$S_d = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q_{1k}} + \gamma_{Q2} \psi_{c2} S_{Q_{2k}} + \cdots + \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Q_{ik}} + \cdots + \gamma_{Qn} \psi_{cn} S_{Q_{nk}} \quad (1-6)$$

式中  $\gamma_G$  ——永久作用的分项系数;

$\gamma_{Qi}$  ——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式 (1-7) 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 土是怎样形成的?

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。

### 2-2 勘探报告中符号 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 和 $Q_4$ 表示何意?

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( $Q_4$ )。

### 2-3 土是由哪几部分组成的?

如前所述,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—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。关于土的三个组成部分的比例关系及其对土的性质影响，将在下面说明。

## 2-4 什么是土的粒组、颗粒级配和颗粒级配曲线？

### 1. 土的粒组

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 胶粒		0.005~0.002 <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

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 6 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。

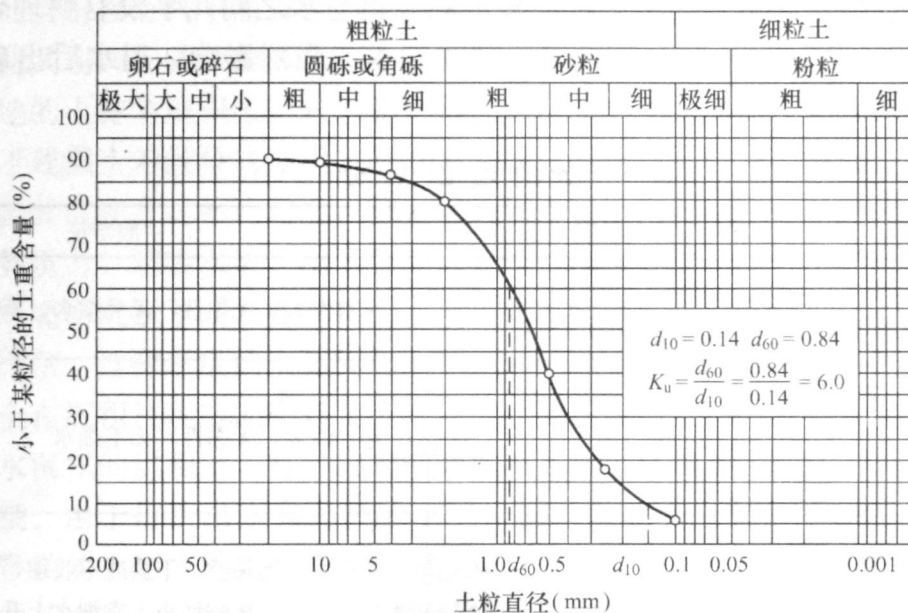


图 2-1 颗粒级配累积曲线

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：

$$K_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

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。

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。

## 2-5 土粒中含有哪些矿物成分？

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，给工程建筑带来不利影响。

## 2-6 土中水是怎样分类的?

土中水按其性质可分为以下几类(图 2-2):

(1) 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: 试验表明, 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: 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。

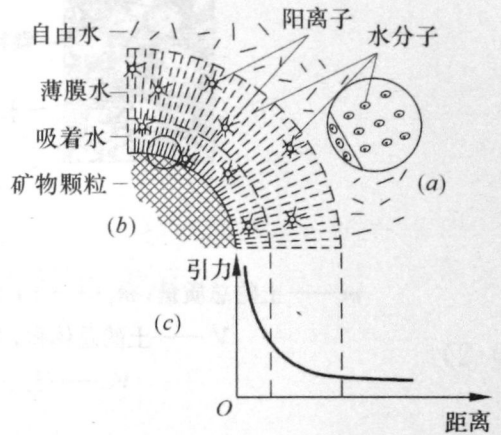


图 2-2 水在土中的形态简图

(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

## 2-7 土中气体是怎样分类的?

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。

## 2-8 什么是土的物理性质指标?

土由固体颗粒、水和气体三部分组成。这三部分之间的不同比例, 反映着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 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

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  $\rho$  表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{t/m}^3) \quad (2-1)$$

土的密度随着土的矿物成分, 孔隙大小和水的含量而不同, 天然状态下的土的密度一



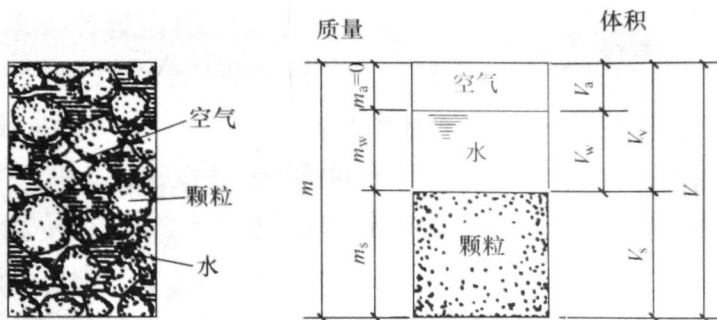


图 2-3 土的三相简图

$m$ ——土的总质量； $m_s$ ——土的颗粒质量； $m_w$ ——土中水的质量； $m_a$ ——土中气体的质量；  
 $V$ ——土的总体积； $V_s$ ——土的颗粒体积； $V_w$ ——土中水的体积；  
 $V_v$ ——土中孔隙的体积； $V_a$ ——土中气体的体积

一般为  $16 \sim 20 \text{ t/m}^3$ 。

## (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  $\gamma$  表示。

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

式中  $G$ ——土的重力 (kN)。

因为  $G = mg$ ，把它代入式 (2-1)，得：

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

式 (2-1) 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。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (2-3)$$

## 3. 土粒相对密度 (比重)

土粒单位体积的质量与  $4^\circ\text{C}$  时蒸馏水的密度之比，称为土粒相对密度 (或比重)，用符号  $d_s$  表示。

$$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (2-4)$$

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： $\rho$ 、 $w$  和  $d_s$  是直接由试验方法测定的，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  $\rho_d$  表示。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (\text{t/m}^3) \quad (2-5a)$$

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时一般要求达到  $1.50 \sim 1.65 \text{ t/m}^3$ 。