

建筑工程结构设计常用资料速查系列手册

# 建筑地基基础设计 常用资料速查手册

本书编委会 编



*jianzhu diji jichu sheji  
changyong ziliao sucha shouce*

地震出版社

建筑工程结构设计常用资料速查系列手册

TU47-62

11

2006

# 建筑地基基础设计 常用资料速查手册

本书编委会 编

地震出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑地基基础设计常用资料速查手册/本书编委会编.

—北京:地震出版社,2006.11

(建筑工程结构设计常用资料速查系列手册)

ISBN 7-5028-2902-4

I. 建… II. 本… III. 地基—基础(工程)—建筑设计—技术手册 IV. TU47-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 064014 号

地震版 XT200600097

## 建筑地基基础设计常用资料速查手册

本书编委会 编

责任编辑:李和文

责任校对:汪明

---

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路9号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:88421706

门市部:68467991

传真:68467991

总编室:68462709 68423029

传真:68467972

工程图书出版中心:68721991

E-mail: 68721991@sina.com

经销:全国各地新华书店

印刷:北京市通州京华印刷制版厂

---

版(印)次:2006年11月第一版 2006年11月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:730千字

印张:27

书号:ISBN 7-5028-2902-4/TU·205 (3540)

定价:45.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

# 出版说明

近20年来,我国的建筑业取得了长足的进展,并以日新月异的速度飞速发展着。各种新型建筑如雨后春笋般拔地而起,各种新的施工技术随着一大批先进设备的自主研发和直接引进而在大型建筑工程中得到迅速推广和应用,加上现阶段我国经济的快速发展和人们对居住生活环境要求的不断提高,从而使如何加强和培养并保持一支较高素质的建筑工程设计队伍,已成为我国建筑工程行业一项紧迫的任务。

随着国家对一系列建筑工程施工设计标准规范的修订和颁布实施,广大从事建筑工程设计的人员为适应新形势的发展势必要不断学习,以跟上时代的步伐,从而杜绝由于工程设计人员对新修订和颁布的设计规范不熟悉,使工程设计中出现严重的技术经济不合理现象,甚至造成工程质量事故的发生。出于这种思考,我们编写了这套面向广大设计人员的资料汇编丛书——《建筑工程结构设计常用资料速查系列手册》,以期对广大设计人员学习理解应用新版设计规范会有所帮助。

本套图书各分册名称如下:

1. 《钢结构设计常用资料速查手册》;
2. 《混凝土结构设计常用资料速查手册》;
3. 《建筑地基基础设计常用资料速查手册》;
4. 《建筑抗震设计常用资料速查手册》;
5. 《砌体结构设计常用资料速查手册》;
6. 《轻型钢结构设计常用资料速查手册》。

《钢结构设计常用资料速查手册》根据现行规范《钢结构设计规范》(GB 50017—2002)进行编写。主要包括:钢结构设计计算的基本原则,结构布置与结构体系,构件和节点计算,组合楼盖、钢结构各种基本构件,构件连接以及框排架、变截面门式刚架、多层框架、屋盖、吊车梁、柱及支撑体系的设计计算方法。《混凝土结构设计常用资料速查手册》主要根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)及相关的设计规范编写。主要包括:混凝土结构设计原则,混凝土结构的材料标准,混凝土结构构件的设计表,钢筋混凝土结构构件板、梁、柱截面的选用,预应力混凝土结构构件的设计,钢筋混凝土结构构件抗震的设计等。《建筑地基基础设计常用资料速查手册》依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)编写,主要包括:地基土的物理性质,地基中的应力和变形,土的抗剪强度和地基承载力,建筑物地基计算原则,浅基础设计,基槽检验与地基的局部处理,软弱地基以及桩基础等。《建筑抗震设计常用资料速查手册》以《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)为基础编写。主要包括:地震反应分析,地震波的基本知识,结构抗震设计规范化操作,各种抗震设计构造图例说明等。《砌体结构设计常用资料速查手册》以《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)为基础编写。主要包括:砌体材料及砌体的力学性能,砌体结构构件的计算方法,砌体结构承载力计算,

混合结构房屋墙体设计等内容。《轻型钢结构设计常用资料速查手册》主要根据《钢结构设计规范》(GB 50017—2002)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)编写。主要内容包括:轻型钢结构设计基本规定,轻型钢结构构件的计算,轻型钢结构的连接计算与构造,压型钢板的计算与构造,檩条与墙梁的计算与构造,屋架的计算与构造,刚架的计算与构造以及轻型钢结构的制作、安装和防腐蚀等。

本套丛书相对于同类手册有着鲜明的特点和优越性:

1. 简明实用。结合设计者的需要,将各种资料集合在一本书里面,并且仅针对设计人员,更实用,更专业,查找问题一目了然,从而节省了读者大量的时间,提高了工作效率。

2. 内容全面。本书从设计施工各个方面,参考了大量的文献资料编制而成,基本上能满足设计施工人员的各种要求。

3. 采用最新的标准。本书以国家最新颁布的现行设计、施工规范、规程以及相应的行业标准为依据编写而成。

本套丛书由一批具有丰富建筑工程设计工作经验的专家学者及高校教育工作者组织编写。主要编写人员有:李小林、苑辉、董军辉、黄志龙。另外,冯艳霞、刘巍、秦付良、卜永军、任慧、夏明进、孙雅辛等参加了丛书的部分编写工作。

本丛书在编写过程中,得到了部分专家的指导和帮助,在此深表谢意。限于编者的水平,同时建筑工程设计涉及面广,技术复杂,书中错误及疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。在此谨向给予我们热情关怀的领导和给予帮助的同志表示由衷感谢。

本书编委会

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 第一章 土的物理性质及工程分类 .....        | (1)  |
| 第一节 土的组成、结构与构造 .....         | (1)  |
| 一、土的组成 .....                 | (1)  |
| 二、土的结构 .....                 | (3)  |
| 三、土的构造 .....                 | (4)  |
| 第二节 土的物理性质指标 .....           | (4)  |
| 一、土的物理性质指标的定义及计算 .....       | (4)  |
| 二、土的三相物理性质指标 .....           | (6)  |
| 第三节 地基岩土的分类 .....            | (7)  |
| 一、地基岩土类型 .....               | (7)  |
| 二、岩石分类 .....                 | (8)  |
| 三、碎石土分类 .....                | (10) |
| 四、砂土分类 .....                 | (11) |
| 五、粉土分类 .....                 | (12) |
| 六、黏性土分类 .....                | (12) |
| 第二章 地基中应力的计算 .....           | (13) |
| 第一节 土的自重应力计算 .....           | (13) |
| 第二节 基底压力的分布与计算 .....         | (14) |
| 一、基底压力的分布 .....              | (14) |
| 二、基底压力的计算 .....              | (15) |
| 第三节 地基中附加应力计算 .....          | (18) |
| 一、竖向线荷载作用下地基中的应力计算 .....     | (18) |
| 二、条形均布荷载作用下地基中的应力计算 .....    | (19) |
| 三、三角形分布条形荷载作用下地基中的应力计算 ..... | (20) |
| 四、水平荷载作用下地基中的应力计算 .....      | (22) |
| 第四节 地基中附加应力计算的有关问题 .....     | (23) |
| 一、双层地基附加应力计算 .....           | (23) |
| 二、变形模量随深度增大的地基应力的计算 .....    | (25) |
| 三、各向异性地基的应力计算 .....          | (26) |
| 第三章 土的压缩性与地基沉降计算 .....       | (27) |
| 第一节 土的压缩性 .....              | (27) |
| 一、压缩性曲线 .....                | (27) |
| 二、压缩模量 .....                 | (30) |
| 第二节 地基最终沉降量计算 .....          | (32) |
| 一、分层总和法计算 .....              | (32) |

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 二、按《建筑地基基础设计规范》推荐方法计算 ..... | (33) |
| 三、应力历史对地基沉降计算的影响 .....      | (40) |
| 第三节 地基沉降与时间的关系 .....        | (44) |
| 一、有效应力 .....                | (44) |
| 二、饱和土的一维固结 .....            | (45) |
| 第四节 三维应力状态下土的变形和地基沉降 .....  | (47) |
| 一、地基在局部荷载作用下的总沉降 .....      | (47) |
| 二、瞬时沉降量的计算 .....            | (47) |
| 三、固结沉降的计算 .....             | (52) |
| 四、次固结沉降的计算 .....            | (53) |
| 第四章 土的抗剪强度与地基承载力 .....      | (54) |
| 第一节 土的抗剪强度 .....            | (54) |
| 一、抗剪强度 .....                | (54) |
| 二、土的极限平衡条件 .....            | (55) |
| 第二节 抗剪强度的测定 .....           | (57) |
| 一、抗剪强度测定方法 .....            | (57) |
| 二、抗剪强度指标的测定 .....           | (61) |
| 第三节 地基的临塑荷载和临界荷载 .....      | (63) |
| 一、地基的破坏形式 .....             | (63) |
| 二、地基的临塑荷载 .....             | (64) |
| 三、地基的临界荷载 .....             | (66) |
| 第五章 土压力与边坡稳定 .....          | (67) |
| 第一节 土压力的类型和产生条件 .....       | (67) |
| 第二节 静止土压力的计算 .....          | (68) |
| 一、静止土压力计算方法 .....           | (68) |
| 二、静止土压力系数 .....             | (68) |
| 第三节 朗肯土压力计算 .....           | (69) |
| 一、朗肯土压力理论 .....             | (69) |
| 二、朗肯主动土压力计算 .....           | (70) |
| 三、朗肯被动土压力计算 .....           | (73) |
| 第四节 库仑土压力计算 .....           | (73) |
| 一、库仑土压力理论 .....             | (73) |
| 二、库仑主动土压力计算 .....           | (74) |
| 三、库仑被动土压力计算 .....           | (83) |
| 第五节 土压力计算方法的讨论 .....        | (84) |
| 一、《地基规范》中土压力计算 .....        | (84) |
| 二、地面上有局部荷载时土压力的计算 .....     | (85) |
| 三、不规则填土表面土压力计算 .....        | (87) |
| 第六节 挡土墙设计 .....             | (89) |
| 一、挡土墙的类型 .....              | (89) |
| 二、挡土墙验算 .....               | (90) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 第七节 边坡稳定分析            | (93)  |
| 一、边坡岩体分类              | (93)  |
| 二、边坡工程设计              | (94)  |
| 三、边坡工程稳定性分析           | (96)  |
| 第六章 工程地质勘察            | (99)  |
| 第一节 概 述               | (99)  |
| 一、工程地质条件              | (99)  |
| 二、工程地质勘察              | (102) |
| 第二节 工程勘察基本要求          | (104) |
| 一、房屋建筑和构筑物工程勘察        | (104) |
| 二、边坡、基坑、桩基础工程勘察       | (108) |
| 三、地基处理、既有建筑物增载和保护工程勘察 | (111) |
| 第三节 不良地质作用和地质灾害       | (114) |
| 一、岩溶与滑坡               | (114) |
| 二、危岩、崩塌和泥石流           | (117) |
| 三、地面沉降、场地和地基的地震效应     | (118) |
| 第四节 工程地质测绘与调查         | (120) |
| 一、工程地质测绘与调查的原则及范围     | (120) |
| 二、工程地质测绘与调查的方法        | (120) |
| 第五节 勘探与取样             | (121) |
| 一、勘探                  | (121) |
| 二、取样                  | (124) |
| 第六节 原位测试              | (127) |
| 第七节 室内试验              | (135) |
| 第八节 岩土工程分析评价和成果报告     | (137) |
| 第七章 浅基础设计             | (140) |
| 第一节 概 述               | (140) |
| 一、浅基础的概念与分类           | (140) |
| 二、基础常用材料              | (144) |
| 第二节 浅基础设计的原则与步骤       | (146) |
| 第三节 基础埋置深度确定          | (148) |
| 一、影响基础埋置深度的因素         | (148) |
| 二、基础埋置深度的计算           | (150) |
| 三、地基防冻胀措施             | (151) |
| 第四节 地基承载力计算           | (153) |
| 第五节 基础底面尺寸的确定及基础验算    | (164) |
| 一、基础底面尺寸的确定           | (164) |
| 二、地基变形验算              | (165) |
| 第六节 无筋扩展基础设计          | (172) |
| 一、无筋扩展基础基础知识          | (172) |
| 二、无筋扩展基础的设计           | (175) |



|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 三、无筋扩展基础的构造 .....         | (178) |
| 第七节 扩展基础设计 .....          | (180) |
| 一、扩展基础设计基础知识 .....        | (180) |
| 二、柱下钢筋混凝土单独基础计算 .....     | (184) |
| 三、墙下钢筋混凝土条形基础的计算 .....    | (187) |
| 第八节 柱下条形基础设计 .....        | (188) |
| 一、柱下条形基础构造 .....          | (188) |
| 二、柱下条形基础计算 .....          | (190) |
| 三、十字交叉条形基础计算 .....        | (192) |
| 第九节 高层建筑筏形基础设计 .....      | (195) |
| 一、筏形基础设计基础知识 .....        | (195) |
| 二、筏形基础底面积确定与沉降计算 .....    | (198) |
| 三、筏形基础内力的计算 .....         | (199) |
| 四、筏形基础抗冲切和抗剪验算 .....      | (203) |
| 第十节 箱形基础设计 .....          | (207) |
| 一、箱形基础设计基础知识 .....        | (207) |
| 二、箱形基础承载力与变形验算 .....      | (211) |
| 三、箱形基础基底反力分析 .....        | (213) |
| 四、箱形基础的内力分析 .....         | (215) |
| 五、箱形基础强度计算 .....          | (216) |
| 第八章 桩基础设计 .....           | (221) |
| 第一节 概 述 .....             | (221) |
| 一、桩基础基础知识 .....           | (221) |
| 二、桩的类型 .....              | (222) |
| 三、桩基础设计要求 .....           | (224) |
| 第二节 单桩承载力的确定 .....        | (226) |
| 一、荷载传递机理及桩侧阻力的分布 .....    | (226) |
| 二、桩土间的静力平衡 .....          | (228) |
| 三、桩的负摩擦力 .....            | (230) |
| 四、单桩竖向承载力的计算 .....        | (232) |
| 五、单桩抗拔承载力的计算 .....        | (240) |
| 六、单桩水平承载力的计算 .....        | (241) |
| 第三节 群桩基础的竖向承载力与沉降 .....   | (250) |
| 一、群桩基础承载力计算 .....         | (250) |
| 二、群桩基础的沉降计算 .....         | (259) |
| 第四节 桩基础设计 .....           | (268) |
| 一、桩基础设计基础知识 .....         | (268) |
| 二、桩型的选择 .....             | (269) |
| 三、基桩几何尺寸、桩数的确定及桩的布置 ..... | (276) |
| 四、桩的设计与计算 .....           | (279) |
| 五、承台的设计计算 .....           | (283) |
| 六、灌注桩后压浆桩设计 .....         | (289) |

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 七、挤扩支盘桩设计 .....          | (295)        |
| 八、灌注压桩设计 .....           | (297)        |
| 九、复合载体扩桩设计 .....         | (298)        |
| <b>第九章 区域性地基 .....</b>   | <b>(302)</b> |
| 第一节 概 述 .....            | (302)        |
| 第二节 软土地基 .....           | (303)        |
| 一、概述 .....               | (303)        |
| 二、软土地基的承载力与变形计算 .....    | (305)        |
| 第三节 黄土地基 .....           | (306)        |
| 一、概述 .....               | (306)        |
| 二、湿陷性黄土地基承载力与变形的计算 ..... | (308)        |
| 三、湿陷性黄土地基的处理 .....       | (311)        |
| 第四节 冻土地基 .....           | (313)        |
| 一、概述 .....               | (313)        |
| 二、多年冻土地基承载力与变形计算 .....   | (316)        |
| 第五节 填土地基 .....           | (320)        |
| 一、概述 .....               | (320)        |
| 二、填土地基承载力评价 .....        | (322)        |
| 第六节 膨胀土地基 .....          | (322)        |
| 一、概述 .....               | (322)        |
| 二、膨胀土承载力计算 .....         | (323)        |
| 第七节 盐渍土地基 .....          | (325)        |
| 一、盐渍土的成因及分类 .....        | (325)        |
| 二、盐渍土的评价 .....           | (326)        |
| 第八节 红黏土地基 .....          | (327)        |
| 一、红黏土的分类 .....           | (327)        |
| 二、红黏土地基的设计与处理 .....      | (327)        |
| <b>第十章 地基处理 .....</b>    | <b>(329)</b> |
| 第一节 概 述 .....            | (329)        |
| 第二节 换土垫层法 .....          | (331)        |
| 一、换土垫层法基础知识 .....        | (331)        |
| 二、换土垫层法的设计计算 .....       | (332)        |
| 第三节 强夯法 .....            | (335)        |
| 一、强夯法基础知识 .....          | (335)        |
| 二、强夯法设计计算 .....          | (335)        |
| 第四节 振冲法 .....            | (337)        |
| 一、振冲法基础知识 .....          | (337)        |
| 二、振冲法的设计计算 .....         | (338)        |
| 第五节 土或灰土挤密桩法 .....       | (340)        |
| 一、土或灰土挤密桩基础知识 .....      | (340)        |
| 二、土或灰土挤密桩的设计计算 .....     | (340)        |

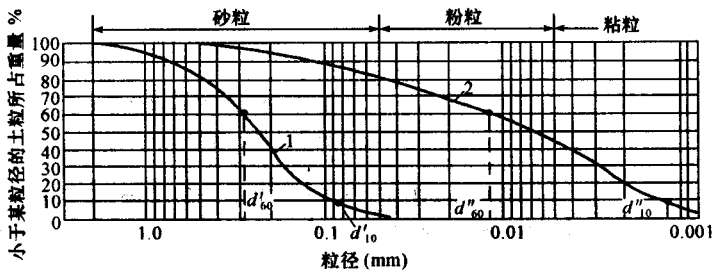
|                            |              |
|----------------------------|--------------|
| 第六节 砂井堆载顶预压法 .....         | (341)        |
| 第七节 高压喷射注浆法 .....          | (345)        |
| 一、高压喷射注浆法基础知识 .....        | (345)        |
| 二、高压喷射注浆法的设计计算 .....       | (345)        |
| 三、高压喷射注浆法的施工及质量检验 .....    | (347)        |
| 第八节 深层搅拌法 .....            | (347)        |
| 一、深层搅拌法基础知识 .....          | (347)        |
| 二、深层搅拌法的设计计算 .....         | (348)        |
| 三、深层搅拌法的施工与质量检验 .....      | (349)        |
| 第九节 土工合成材料 .....           | (349)        |
| 一、土工合成材料基础知识 .....         | (349)        |
| 二、土工合成材料的设计计算 .....        | (353)        |
| 三、土工合成材料的施工及质量检验 .....     | (355)        |
| 第十节 既有建筑地基基础加固设计 .....     | (356)        |
| 一、既有建筑地基基础加固基础知识 .....     | (356)        |
| 二、地基基础的鉴定 .....            | (356)        |
| 三、地基计算 .....               | (357)        |
| 四、地基基础的加固 .....            | (358)        |
| 第十一节 建筑物的纠倾与移位 .....       | (365)        |
| 一、建筑物纠倾加固 .....            | (365)        |
| 二、建筑物的移位 .....             | (370)        |
| <b>第十一章 基坑与边坡工程 .....</b>  | <b>(371)</b> |
| 第一节 概 述 .....              | (371)        |
| 一、深基坑工程基础知识 .....          | (371)        |
| 二、基坑支护结构的选择 .....          | (371)        |
| 三、基坑支护结构的设计 .....          | (375)        |
| 第二节 支护结构的设计 .....          | (382)        |
| 一、支护结构的设计方法 .....          | (382)        |
| 二、桩墙式支护结构设计 .....          | (382)        |
| 三、土钉支护结构设计 .....           | (401)        |
| 四、逆作拱墙结构设计 .....           | (406)        |
| 五、地下水控制 .....              | (407)        |
| <b>第十二章 地基基础抗震设计 .....</b> | <b>(416)</b> |
| 第一节 地基震害的主要形式 .....        | (416)        |
| 第二节 地基基础抗震设计 .....         | (416)        |
| 第三节 地基抗震强度验算 .....         | (420)        |
| 一、抗震强度验算 .....             | (420)        |
| 二、桩基的抗震强度验算 .....          | (421)        |
| <b>参考文献 .....</b>          | <b>(422)</b> |

# 第一章 土的物理性质及工程分类

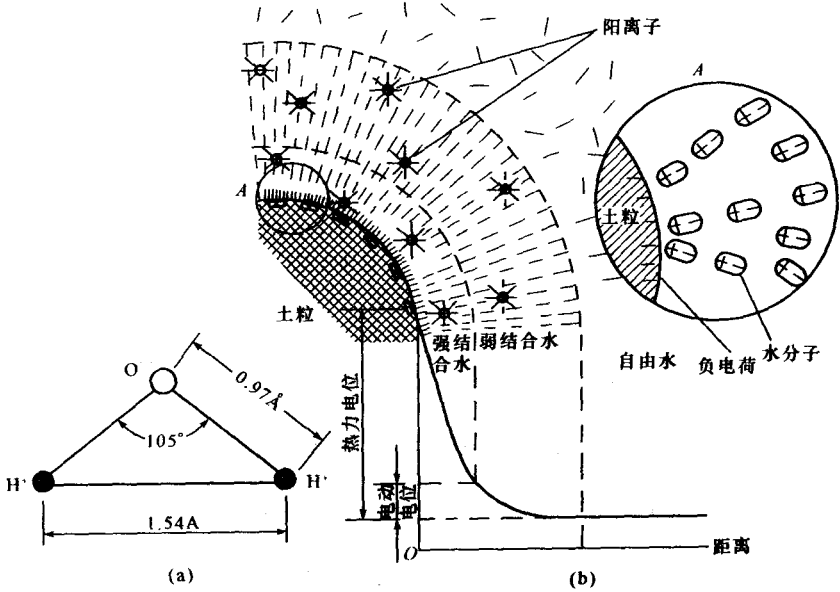
## 第一节 土的组成、结构与构造

### 一、土的组成

土的粒组 表 1-1

| 序号 | 项 目    | 内 容                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 土的固体颗粒 | <p>(1) 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 (表 1-2)。由表中可以看出, 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 0.005mm 的黏粒和胶粒就受水的强烈影响, 遇水时出现黏性、可塑性、膨胀性等粗颗粒所不具有的诸种特性。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。</p> <p>工程中常用的粒径分析法有筛分法 (适用于粒径大于 0.074mm 的土) 与比重计法 (适用于粒径小于 0.074mm 的土) 两种。如土中同时含有大于和小于 0.074mm 的土粒时, 则两种方法并用。</p> <p>颗粒分析的结果常用如图 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。粒径级配曲线对土的颗粒组成给以明确的概貌, 如由曲线 2 看出, 所试验的土样含黏粒 44%, 粉粒 36%, 砂粒 20%。</p> <div></div> <p style="text-align: center;">图 1 粒径级配曲线</p> <p>若级配曲线平缓, 表示土中各种大小的土粒都有, 颗粒不均匀, 级配良好; 曲线陡峻则表示土粒均匀, 级配不好。具体用不均匀系数 <math>K_u</math> 来衡量。</p> $K_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$ <p>式中 <math>d_{60}</math>——称为限定粒径, 土中小于该粒径的颗粒重占土总重的 60%;<br/><math>d_{10}</math>——称为有效粒径, 土中小于该粒径的颗粒重占土总重的 10%。</p> <p>工程上把 <math>K_u &lt; 5</math> 的土看作级配均匀; <math>K_u &gt; 10</math> 的土看作级配良好, 土中的大孔隙可为细颗粒所填充, 因而适于作填方土料及混凝土工程的砂石料。</p> <p>(2) 土粒的矿物成分。碎石土中的粗大颗粒, 其矿物成分与母岩相同。砂粒的主要矿物成分是原生的石英、长石、云母。粉粒则可由次生的石英、钙和镁的碳酸盐构成。黏粒则主要由黏土矿物、氧化物、氢氧化物和各种难溶盐组成。</p> <p>黏土矿物特别重要, 是黏性土的重要成分。它们是呈片状或针状的晶体, 粒径在 0.005mm 以下, 属黏粒与胶粒。黏土矿物分为三大组: 高岭石组、伊利石组和蒙脱石组</p> |

续表

| 序号 | 项目  | 内 容                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2  | 土中水 | <p>(1) 结合水。这部分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），并在周围的空间内形成电场，将介质中的水分子〔它是极性分子，见图 2 (a)〕及游离阳离子吸附于表面，从而形成结合水膜〔图 2 (b)〕。</p>  <p style="text-align: center;">图 2 黏土矿物和水分子的相互作用<br/>(a) 极性水分子示意图；(b) 土粒表面的结合水膜</p> <p>(2) 自由水。这种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叫重力水，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—无（一般认为粒径大于 2mm 的土粒无毛细现象）；砂土 2m 以下；粉土及黏性土 2m 以上</p> |
| 3  | 土中气 | <p>土中与大气连通的气体对土的性质无影响，如为封闭气泡，则在受力时有弹性变形，卸荷后又恢复。气泡使土的压缩性增加，透水性减小</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

土粒的粒组

表 1-2

| 粒组名称                    | 分界粒径/mm                   | 一般特性                                            |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|
| 漂石及块石<br>卵石及碎石<br>圆砾及角砾 | 800~200<br>200~20<br>20~2 | 透水性大，无黏性，毛细水上升高度极微，不能保持水分                       |
| 砂 粒                     | 2~0.05                    | 易透水，无黏性，毛细水上升高度不大，遇水不膨胀，干燥不收缩，呈松散状，不表现可塑性，压缩性甚微 |

续表

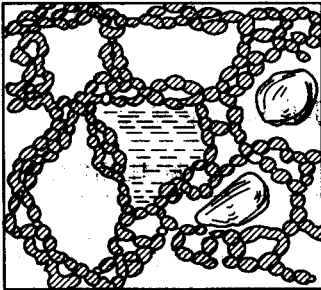
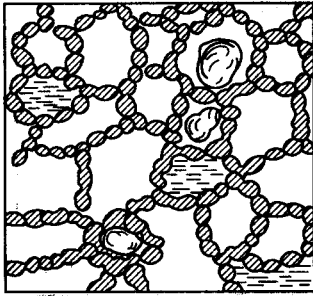
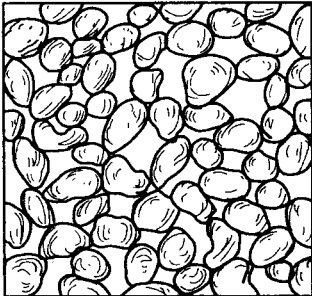
| 粒组名称       | 分界粒径/mm               | 一般特性                                          |
|------------|-----------------------|-----------------------------------------------|
| 粉 粒        | 0.05~0.005            | 透水性小，毛细水上升高度较大，湿润时能出现微黏性，遇水时膨胀与干燥时收缩都不显著      |
| 黏土粒<br>胶 粒 | 0.005~0.002<br>0.002* | 几乎不透水，结合水作用显著，潮湿时呈现可塑性，黏性大，遇水膨胀与干燥收缩都较显著，压缩性大 |

\* 在胶体化学中认为粒径在0.1μm以下的颗粒属于胶粒，但在土力学中认为粒径在0.002~0.001mm以下的颗粒就具有胶粒的某些特性，有人称之准胶粒。

二、土的结构

土的结构组成

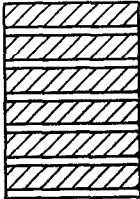
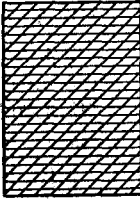
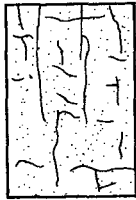
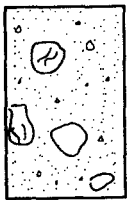
表 1-3

| 序号 | 项 目   | 内 容                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 单粒结构  | 单粒结构（图 1）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。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。前者颗粒间的孔隙大，颗粒位置不稳定，不论在静载或动载下都很容易错位，产生很大下沉，特别在振动作用下尤甚（体积可减少 20%）。因此疏松的单粒结构不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、静荷载下均不会产生较大下沉，是较理想的天然地基                                                                                   |
| 2  | 蜂窝结构  | 蜂窝结构（图 2）多为颗粒细小的黏性土具有的结构形式，有时粉砂也可能有。据研究，粒径在 0.002~0.02mm 左右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有足够大，因此土粒就停留在最初的接触点上不再下降，形成很大孔隙的蜂窝状结构                                                                                                                                                                                   |
| 3  | 絮状结构  | 絮状结构（图 3）是颗粒最细小的黏性土特有的结构形式。粒径小于 0.002mm 的土粒能够在水中中长期悬浮，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                                                                                                                                                                                                               |
| 4  | 结构示意图 | <div></div> <div><p>图 1 单粒结构示意图</p><p>图 2 蜂窝结构示意图</p><p>图 3 絮状结构示意图</p></div> |

## 三、土的构造

土的构造类型

表 1-4

| 序号 | 项 目   | 内 容                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 层状构造  | 层状构造(图1)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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 2  | 分散构造  | 分散构造(图2)土层中各部分的土粒组合无明显差别,分布均匀,各部分的性质亦相近。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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3  | 裂隙状构造 | 裂隙状构造(图3)裂隙中往往充填盐类沉淀,不少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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 4  | 结核状构造 | 结核状构造(图4)在细粒土中明显掺有大颗粒或聚集的铁质、钙质集合体、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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5  | 构造示意图 | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>图1 层状构造示意图</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>图2 分散构造示意图</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>图3 裂隙状构造示意图</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>图4 结核状构造示意图</p> </div> </div> |

## 第二节 土的物理性质指标

## 一、土的物理性质指标的定义及计算

土的物理性质指标的定义及计算

表 1-5

| 序号 | 指标名称 | 符 号      | 定 义 及 计 算 公 式                                                                                                                                               |
|----|------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 土的重度 | $\gamma$ | <p>(1) 土的重度 <math>\gamma</math> 是指土在天然状态下单位体积的重量,单位为 <math>\text{kN/m}^3</math> 或 <math>\text{g/cm}^3</math>, 用下式表示:</p> $\gamma = \frac{W}{V} \quad (1-2)$ |

续表

| 序号 | 指标名称      | 符 号       | 定 义 及 计 算 公 式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 土的重度      | $\gamma$  | <p>土的重度可用环刀法测定，即根据特制环刀所切取的土重除以环刀的容积即得。对不宜用环刀切取的土样或岩石也可用排开等体积的水银或用蜡封等方法测定。</p> <p>(2) 饱和重度 <math>\gamma_m</math>：土中孔隙全部被水充满时土的重度，用下式表示：</p> $\gamma_m = \frac{W_s + W'_w}{V} = \frac{W_s + V_v \cdot \gamma_w}{V} \quad (1-3)$ <p>式中 <math>W_s</math>——土的固体颗粒的重力（量）；<br/><math>W'_w</math>——充满土中全部孔隙的水重；<br/><math>V_v</math>——土中全部孔隙的体积；<br/><math>\gamma_w</math>——水的重度，取 <math>10\text{kN/m}^3</math>。</p> <p>(3) 浮重度 <math>\gamma'</math>：即在地下水位以下的土，受到水的浮力作用时，单位体积的土中土粒的有效重（浮重），用下式表示：</p> $\gamma' = \frac{W_s + W'_w - V \cdot \gamma_w}{V} = \gamma_m - \gamma_w = \gamma_m - 1 \quad (1-4)$ <p>(4) 干重度 <math>\gamma_d</math>：即单位体积中土粒的总重</p> $\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (1-5)$ |
| 2  | 土粒的相对密度   | $d_s$     | <p>土粒的相对密度 <math>d_s</math> 是指土粒重量与同体积的 <math>4^\circ\text{C}</math> 时的水的重量之比，用下式表示：</p> $d_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \quad (1-6)$ <p>式中 <math>V_s</math>——土中固体颗粒的体积。</p> <p>一般土粒的相对密度在 <math>2.65 \sim 2.80</math> 之间，它的大小决定于土的矿物成分。砂土的相对密度约为 <math>2.65</math>；黏土的相对密度约为 <math>2.70 \sim 2.80</math>。土中含有大量的机质时土粒相对密度显著减小。同一种类的土，其相对密度变化幅度很小。</p> <p>土的相对密度可在试验室内用比重瓶法测定</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3  | 土的含水量     | $w$       | <p>土的含水量 <math>w</math> 是指土中水的重量与土颗粒重量的比值，以百分数表示：</p> $w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (1-7)$ <p>土的含水量表示土的湿度，含水量越大说明土越湿，一般说，工程性质就差。含水量小的土强度较高。土的含水量变化幅度是很大的，砂土大致在 <math>0 \sim 40\%</math> 间变化，黏性土在 <math>20\% \sim 100\%</math> 间变化，有的甚至可高达百分之几百。</p> <p>土的含水量一般采用烘干法测定。将土样在 <math>100 \sim 105^\circ\text{C}</math> 恒温下烘干，这时土中的自由水与结合水排走了，根据烘干前后的重量差与烘干后的土重之比即得</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4  | 土的孔隙比及孔隙率 | $e$ 及 $n$ | <p>土的孔隙比 <math>e</math> 是土中孔隙体积与土粒体积的比值，以下式表示：</p> $e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-8)$ <p>土的孔隙率（孔隙度）是孔隙体积与土体总体积之比，以百分数表示，即</p> $n(\%) = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (1-9)$ <p>孔隙比 <math>e</math> 与孔隙率 <math>n</math> 间有下列关系：</p> $e = \frac{n}{1 - n} \quad (1-10)$ $n(\%) = \frac{e}{1 + e} \times 100 \quad (1-11)$ <p>土的孔隙比反映了土的密实程度，孔隙比越大，土越疏松；孔隙比越小，土越密实。一般天然状态的土，若 <math>e &lt; 0.6</math>，则这种土可作为建筑物的良好地基。若 <math>e</math> 值大于 <math>1</math>，说明土中孔隙体积比土粒所占的体积还多，因而土的工程性质就差</p>                                                                                                                                                                                                     |



续表

| 序号 | 指标名称  | 符 号   | 定 义 及 计 算 公 式                                                                                                             |
|----|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | 土的饱和度 | $S_r$ | <p>土的饱和度 <math>S_r</math> 表示土孔隙内充水的程度, 即土中水的体积与孔隙体积的比值, 常以百分数表示:</p> $S_r (\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (1-12)$ |

## 二、土的三相物理性质指标

土的三相物理性质指标常用换算公式

表 1-6

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