

地基基础设计

计算与实例



人民交通出版社
China Communications Press

结构设计计算与实例

地基基础设计计算与实例

本书编委会 编



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)及相关标准规范编写而成,全书通过大量实例详细介绍了建筑地基基础设计计算的方法。全书主要内容包括土的物理性质及分类、土力学计算、土坡稳定分析、工程地质勘察、浅基础设计计算、桩基础设计计算、软弱地基处理、基坑支护工程设计计算、基础设计范例及地基基础设计常用数据等。

本书资料丰富,内容翔实,具有较强的实用性,可供建设工程设计人员及大中专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础设计计算与实例 / 本书编委会编. —北京: 人民交通出版社, 2008.6

ISBN 978 - 7 - 114 - 07197 - 3

I.地… II.本… III.①地基-基础工程-设计②地基-工程计算 IV.TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第077812号

书 名: 地基基础设计计算与实例

著 者: 本书编委会

责任编辑: 邵 江

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 22.25

字 数: 548 千

版 次: 2008年9月 第1版

印 次: 2008年9月 第1次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 07197 - 3

定 价: 45.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

地基基础设计计算与实例

编 委 会

主 编:苑 辉

副主编:杜兰芝 朱 成

编 委:白 鸽 卜永军 陈海霞 杜翠霞

韩国栋 吉斌武 刘雪芹 刘 争

卢月林 彭 顺 秦付良 田雪梅

文丽华 武志华 杨静林 岳永铭

张 谦 赵 娟

前 言

现在市场上的结构设计书大致可分两种,一种是结构设计教科书,侧重讲清道理;一种是设计参考书,侧重传授方法。很少有既讲道理又介绍方法和经验解决实际问题的书。设计人员设计时往往需要花费很多时间查找图书资料,广大学生在课程设计、毕业设计时也苦于如何将学到的专业知识转化为实际应用。一本既符合规范规定又有实际设计例题并收录有常用参考资料的手册是他们真正渴求的,而且随着近年来各种年新版建筑结构设计标准规范的修订和颁布实施,新形势对广大的设计人员和土木工程专业学生提出了新的更高的要求。正是出于这种思考,我们编写一套面向广大设计人员和土木工程专业学生的设计实例丛书——《结构设计计算与实例》。

《结构设计计算与实例》丛书紧扣现行建筑结构设计标准规范,重点突出了新的标准规范的设计要求,通过一系列计算例题和设计实例来促进新规范的理解应用。同时通过设计实例具体化一些规范的规定和要求,并根据实例整理出设计中常用的一些数据资料以便查阅。最近几年电算的运用已经很普遍,但是设计方案是由设计人员来选定,计算结果也需要设计人员来判断和取舍,也有超过电算适用范围的工程。因此对于基本概念的了解和基本规范规定的熟悉就显得特别重要。为此,本书特别强调基本构件的计算和规范规定的理解,并在实例中分析,力求步骤清晰,促进基本技能的训练。

本系列丛书内容新而全,涉及内容广泛,编撰体例新颖,并且具有实用、可操作性强、可随查随用等特点。相信本丛书的出版,将会成为广大设计人员必备的参考书,也是土木工程专业学生课程设计的好的指导书。

本系列丛书共有以下分册:

1. 《钢结构设计计算与实例》
2. 《混凝土结构设计计算与实例》
3. 《地基基础设计计算与实例》
4. 《建筑抗震设计计算与实例》
5. 《轻型钢结构设计计算与实例》

《钢结构设计计算与实例》根据现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2002)编写,主要内容包括:受弯构件、轴心受力构件、拉弯构件、压弯构件的计算,疲劳计算,连接计算和连接构件的设计,屋盖结构和屋面结构设计计算,支撑系统的计算,吊车梁设计,门式刚架设计,钢与混凝土组合梁设计,钢管结构设计等。书中还从工程概况、设计依据入手详细介绍了单层框架钢结构厂房设计步骤,同时列出了钢结构工程设计中常用的数据资料,是一本实用性很强的资料集。

《混凝土结构设计计算与实例》根据混凝土结构设计的特点,紧扣《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)系统性地介绍了混凝土结构受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭、受冲切及局部受压构件等的计算,板、梁、柱、墙的设计计算,根据实际工程分别列出了预应力混凝土结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结

构、底部大空间剪力墙结构、筒体结构、板柱-剪力墙结构、单层钢筋混凝土柱厂房的设计以及设计常用的数据资料等。全书内容全面丰富,理论联系实际,实用性强。

《地基基础设计计算与实例》依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)等规范以及根据地基基础设计实际工程的特点,详细介绍了土的物理性质指标、地基中应力的计算、建筑地基中基础沉降的计算、土的抗剪强度及地基稳定计算、土坡稳定和土压力计算等,根据实际工程全面系统地列举了浅基础设计、无筋扩展式基础设计、钢筋混凝土扩展式基础设计、柱下钢筋混凝土条形基础设计、十字交叉钢筋混凝土条形基础设计、筏形基础设计、箱形基础设计、桩基础设计、重力式挡土墙设计、锚定板挡土墙设计、基坑设计、地下连续墙设计、沉井设计等以及设计常用的数据资料。全书理论联系实际,内容丰富,实用性及可操作性强。

《建筑抗震设计计算与实例》根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)以及实际工程中抗震设计的内容,主要介绍了地震作用和结构抗震验算、多层砖房抗震设计、多层混凝土小砌块房屋抗震设计、配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋设计、钢筋混凝土框架结构抗震设计、钢筋混凝土抗震墙结构房屋设计、钢筋混凝土框架-抗震墙结构房屋设计、底部大空间抗震墙结构房屋设计、钢筋混凝土筒体结构房屋抗震设计、板柱-抗震墙结构房屋设计、预应力混凝土结构抗震设计、单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计、多层和高层钢结构房屋抗震设计、钢结构工业厂房抗震设计等以及设计常用的数据资料。本书知识全面、简明实用,注重理论联系实际,具有很强的实用性和可操作性。

《轻型钢结构设计计算与实例》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)、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS102:2002),按近年来轻型结构的新发展及工程设计成果,考虑建设、设计和施工的要求,将各方面的经验资料总结编写而成。主要内容包括:轻型钢结构各构件的计算、轻型钢结构的连接计算与设计、压型钢板的计算与设计、檩条与墙梁的计算与设计、屋架的计算与设计、刚架的计算与设计,还列举了单层轻型钢结构厂房的设计以及设计常用的数据资料。全书注重理论联系实际以及现代与传统方法的结合,在保证系统全面的同时,力求体现实用性和可操作性。

本套丛书主要有如下的特点和优越性:

1. 采用最新标准。丛书是最新建筑结构设计规范和实例设计相结合的书籍。
2. 快速实用。即帮助读者在短时间内掌握设计的主要方法并向读者提供一些简明实用的设计数据及相关资料。在书的前一部分介绍结构设计的基本知识以及基本算例;在书的后一部分详细列举了实际工程中经常采用的设计的实例,促进读者在实例中更好地理解规范和掌握设计方法。这种帮助读者快速学快速查,快速设计快速解决问题的轻松学习过程正是本套丛书的特色所在。此外,在书的最后还附有常用的数据资料供读者参考。
3. 内容全面。丛书从设计施工各个方面,参考大量的文献资料 and 实践经验编制而成,基本上能满足设计施工人员的要求。

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编写,在编写过程中还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。

本书编委会

目 录

第一章 土的物理性质及分类	(1)
第一节 土的物理性质指标	(1)
一、反映土的松密程度的指标	(1)
二、反映土中含水程度的指标	(2)
三、特定条件下土的密度	(2)
四、黏性土特性	(4)
【例 1-1】 某钻孔原状土试样物理性质指标的计算	(5)
【例 1-2】 某地基试验原状土样物理性质指标的计算	(6)
【例 1-3】 土的物理性质指标计算公式的推导	(7)
【例 1-4】 某完全饱和和原状土样物理性质指标的计算	(8)
【例 1-5】 某原状土样物理性质指标的计算	(9)
【例 1-6】 某砂试样密度和含水量的确定	(9)
【例 1-7】 某砂土土样密实度的评定	(9)
【例 1-8】 某完全饱和黏性土试样分类名称和软硬状态的确定	(10)
第二节 土的力学性质指标	(10)
一、土的压缩系数	(10)
二、土的压缩模量	(10)
三、土的变形模量	(10)
【例 1-9】 土的变形模量和压缩模量的计算	(11)
第三节 土的工程性质指标	(11)
一、土的可松性	(11)
二、土的压缩性	(12)
第四节 土的渗透性质指标	(12)
一、土的渗透性	(12)
二、渗透系数的测定方法	(12)
三、潜蚀、流砂	(13)
【例 1-10】 某渗透试验装置的计算	(14)
【例 1-11】 定水头渗透试验中土的渗透系数的计算	(14)
【例 1-12】 变水头渗透试验中土的渗透系数的计算	(14)
【例 1-13】 基坑板桩支撑截水长度验算	(15)
【例 1-14】 某基坑板桩墙渗流破坏验算	(15)

【例 1-15】 某土样渗透力和渗透稳定性验算	(16)
【例 1-16】 某土样渗透系数的计算	(16)
第二章 土力学计算	(17)
第一节 地基中的应力计算	(17)
一、土的自重应力计算	(17)
二、基底接触应力的分布与计算	(18)
三、地基中附加应力计算	(21)
【例 2-1】 土的自重应力的计算	(28)
【例 2-2】 等代荷载法计算附加应力	(28)
【例 2-3】 土的自重应力沿深度的分布计算	(28)
【例 2-4】 土的侧向自重应力的计算	(29)
【例 2-5】 某建筑场地土的应力分布图的绘制	(29)
第二节 建筑物基础沉降的计算	(30)
一、土的侧限压缩变形量的计算	(30)
二、基础沉降量的计算	(31)
【例 2-6】 某饱和黏土层沉降量及沉降时间的计算	(35)
【例 2-7】 某未固结新填土地基沉降时间的计算	(36)
【例 2-8】 按《建筑地基基础设计规范》推荐的沉降计算公式计算沉降量	(37)
【例 2-9】 某矩形基础最终沉降量计算	(38)
【例 2-10】 填土压力作用下天然土层沉降量和附加沉降量的计算	(42)
【例 2-11】 按《建筑地基基础设计规范》推荐沉降计算公式计算基础最终沉降量	(43)
【例 2-12】 柱下独立基础最终沉降量计算	(44)
第三节 土的抗剪强度计算	(46)
一、总应力表示法	(46)
二、有效应力表示法	(47)
三、莫尔-库仑理论	(47)
【例 2-13】 地基中某点法向应力和剪应力计算	(48)
【例 2-14】 某饱和黏性土试样、破坏状态验算	(48)
【例 2-15】 某土样极限平衡状态验算	(49)
【例 2-16】 某饱和黏性土试样三轴固结排水剪切试验计算	(49)
【例 2-17】 某正常固结饱和黏土试样三轴不排水剪切试验计算	(50)
【例 2-18】 某黏土试样固结不排水试验计算	(51)
【例 2-19】 某正常固结饱和黏性土试样不固结不排水试验计算	(53)
第四节 地基承载力计算	(53)
一、地基承载力	(53)
二、太沙基公式	(55)

三、梅耶霍夫公式	(56)
四、汉森公式	(57)
五、魏锡克公式	(58)
六、地基的临界荷载和临塑荷载	(59)
七、深基础的地基极限承载力	(60)
【例 2-20】 理论公式计算地基承载力	(60)
【例 2-21】 某条形基础临塑荷载、临界荷载的计算	(60)
【例 2-22】 太沙基公式计算条形基础地基承载力	(61)
【例 2-23】 太沙基公式计算方形基础地基承载力	(61)
【例 2-24】 汉森公式计算地基承载力	(62)
【例 2-25】 太沙基公式计算地基承载力的分析	(63)
【例 2-26】 某厂房杯形基础的设计和计算	(64)
【例 2-27】 某柱基础地基持力层和下卧层的强度验算	(66)
第三章 土坡稳定分析	(68)
第一节 土压力计算	(68)
一、库仑土压力	(68)
二、朗肯土压力	(70)
【例 3-1】 某挡土墙主动土压力计算	(73)
【例 3-2】 某挡土墙主动土压力沿墙高的分布	(73)
【例 3-3】 某挡土墙分层填土时主动土压力计算(一)	(74)
【例 3-4】 某挡土墙分层填土时主动土压力计算(二)	(74)
【例 3-5】 挡土墙后填土有地下水时主动土压力的计算	(75)
【例 3-6】 墙背倾斜时挡土墙被动土压力计算	(77)
第二节 简单土坡分析	(77)
一、简单土坡稳定分析	(77)
二、土体滑坡分析	(78)
【例 3-7】 某土体稳定性分析(一)	(79)
【例 3-8】 某土体稳定性分析(二)	(80)
【例 3-9】 某土体滑坡分析计算	(80)
第三节 边坡稳定分析	(81)
一、条分法	(81)
二、图解法	(82)
三、稳定系数法	(83)
四、毕肖普法	(83)
五、非圆弧滑动面的分析法	(84)
六、深基坑开挖中的竖直边坡稳定分析	(86)

【例 3-10】 条分法计算土坡的稳定安全系数	(87)
【例 3-11】 毕肖普法计算土坡的稳定安全系数	(88)
【例 3-12】 某挡土墙抗滑稳定性验算	(90)
【例 3-13】 某挡土墙超载情况下被动土压力计算	(90)
【例 3-14】 某挡土墙受力分析计算	(91)

第四章 工程地质勘察

(92)

第一节 工程地质条件

(92)

第二节 建筑工程勘察

(93)

一、基本要求

(93)

二、岩土工程勘察报告

(94)

【例 4-1】 岩土工程报告范例

(101)

第五章 浅基础设计计算

(117)

第一节 无筋扩展式基础

(117)

一、中心荷载作用下无筋扩展基础设计

(117)

二、偏心荷载作用下无筋扩展基础设计

(118)

【例 5-1】 某地基土层承载力验算

(118)

【例 5-2】 某无筋扩展条形基础设计计算

(119)

第二节 钢筋混凝土扩展基础

(120)

一、钢筋混凝土柱下独立基础设计

(120)

二、墙下钢筋混凝土条形基础设计

(123)

【例 5-3】 某厂房柱下矩形基础底面尺寸的确定

(124)

【例 5-4】 某柱下锥形基础设计计算

(124)

【例 5-5】 某条形柱基底面边长的确定

(125)

【例 5-6】 某厂房柱基底面尺寸的确定

(126)

【例 5-7】 某框架结构钢筋混凝土柱基础设计计算

(127)

【例 5-8】 某锥形基础受冲切承载力验算

(129)

【例 5-9】 某厂房柱下独立基础设计计算

(129)

第三节 钢筋混凝土条形基础

(134)

【例 5-10】 某厂房钢筋混凝土条形基础设计计算

(134)

【例 5-11】 某钢筋混凝土条形基础尺寸的确定

(135)

【例 5-12】 某墙下条形基础的设计计算

(135)

【例 5-13】 某墙下条形基础基底宽度的验算

(136)

第四节 十字交叉钢筋混凝土条形基础

(137)

【例 5-14】 交梁基础最终沉降量计算

(139)

第五节 筏形基础

(140)

一、筏形基础的地基计算	(140)
二、筏形基础的内力计算	(141)
【例 5-15】 某高层建筑梁板式筏形基础设计计算	(143)
第六节 箱形基础	(144)
一、地基承载力计算	(144)
二、地基变形计算	(145)
三、基底反力计算	(146)
四、箱形基础截面强度验算	(146)
【例 5-16】 某箱形基础纵向距中整体弯矩的计算	(147)
第六章 桩基础设计计算	(151)
第一节 单桩设计	(151)
一、确定单桩承载力的经验公式	(151)
二、单桩在水平作用下的内力计算	(151)
三、单桩抗拔承载力计算	(153)
【例 6-1】 某钢筋混凝土单桩设计计算	(154)
【例 6-2】 某高层建筑桩基础设计计算	(155)
【例 6-3】 某钢筋混凝土桩基单桩承载力验算	(156)
第二节 群桩基础设计	(157)
一、群桩承载力计算	(157)
二、群桩基础沉降量控制和计算	(160)
三、桩与承台下共同作用及计算	(164)
【例 6-4】 某工程桩基础设计计算	(165)
【例 6-5】 某预制钢筋混凝土桩单桩承载力特征值的确定	(168)
【例 6-6】 某干作业钻孔桩单桩承载力特征值的确定	(168)
【例 6-7】 某柱下预制钢筋混凝土打入桩基础设计计算	(169)
第三节 桩承台设计	(176)
一、承台受弯计算	(176)
二、受冲切计算	(177)
三、受剪切计算	(179)
【例 6-8】 某柱下桩基础独立承台设计计算	(180)
第四节 桩基设计	(182)
一、确定桩数及桩的布置	(182)
二、灌注桩桩顶计算	(184)
三、桩基础扩大头设计	(184)
【例 6-9】 某二级建筑桩基础设计计算	(186)

第七章 软弱地基处理	(189)
第一节 软土地基承载力	(189)
一、极限荷载法	(189)
二、临塑荷载法	(189)
【例 7-1】 某软土地基采用砂井预压加固后固结度计算	(189)
第二节 换土垫层法	(190)
【例 7-2】 某地基换填垫层后基础及垫层尺寸的确定	(191)
第三节 振冲法地基处理计算	(192)
【例 7-3】 振冲桩复合地基的承载力标准值和压缩模量计算	(193)
第四节 砂石桩法地基处理	(194)
一、砂石桩的间距	(194)
二、承载力计算	(195)
三、布桩排距	(195)
四、布桩总数、总面积和总用料量	(195)
五、桩孔内填砂石量	(196)
【例 7-4】 某工程砂石桩地基处理布桩设计	(196)
第五节 重锤夯实处理地基	(197)
一、夯锤重量与锤底直径	(197)
二、预留土层厚度	(197)
三、基底底面夯实宽度	(197)
四、补充加水量	(197)
【例 7-5】 某场地表面重锤夯实处理预留土层厚度计算	(198)
【例 7-6】 某基坑重锤夯实处理补充加水量计算	(198)
第六节 预制桩打(沉)桩地基	(198)
一、打桩屈曲荷载计算	(198)
二、打桩锤击压应力计算	(198)
三、打桩控制贯入度的计算	(199)
四、打(沉)桩安全距离	(199)
【例 7-7】 某桩基工程打桩施工时长柱屈曲破坏验算	(199)
【例 7-8】 某桩基工程打桩安全验算	(200)
【例 7-9】 打桩贯入度控制计算	(200)
第七节 岩石锚杆(桩)承载力计算	(200)
一、单根锚杆抗拔力计算	(200)
二、锚杆基础中锚杆所承受的拔力	(201)
【例 7-10】 某砂岩地上临时锚碇设计	(201)
【例 7-11】 岩石锚杆基础抗拔力验算	(201)

第八章 基坑支护工程设计计算	(203)
第一节 基坑(槽)和管沟支撑计算	(203)
一、挡土板计算	(203)
二、立柱计算	(203)
三、横撑计算	(205)
【例 8-1】 某管道沟槽木支撑截面设计	(205)
第二节 重力式挡土墙	(206)
一、一般地区挡土墙稳定验算	(206)
二、浸水地区挡土墙稳定计算	(209)
三、地震地区挡土墙的稳定计算	(210)
四、重力式挡土墙基础设计	(211)
【例 8-2】 浆砌石挡土墙验算	(212)
【例 8-3】 挡土墙主动土压力计算(一)	(215)
【例 8-4】 挡土墙主动土压力计算(二)	(216)
【例 8-5】 混凝土挡土墙设计	(217)
【例 8-6】 浆砌块石重力式挡土墙设计	(218)
第三节 悬臂式挡土墙	(222)
一、悬臂式挡土墙土压力计算	(222)
二、墙身内力计算	(223)
三、钢筋混凝土墙身计算	(224)
【例 8-7】 某钢筋混凝土悬臂挡土墙设计	(225)
第四节 加筋挡土墙	(230)
一、土压力计算	(230)
二、墙面板设计	(231)
【例 8-8】 某加筋土挡土墙设计	(233)
第五节 锚定板挡土墙	(238)
一、墙背土压力计算	(238)
二、肋柱拉杆和锚定板的内力计算	(238)
三、锚定板的抗拔力	(240)
【例 8-9】 某锚定板挡土墙设计	(240)
第六节 基坑支护	(244)
一、水平内力计算	(244)
二、地下连续墙设计	(246)
【例 8-10】 某地下室工程基坑板桩入土深度计算.....	(249)
【例 8-11】 某基坑抗隆起稳定性验算.....	(250)
【例 8-12】 某基坑管涌验算.....	(250)

【例 8-13】 某箱形基础基坑灌注桩支护设计计算·····	(250)
【例 8-14】 某深基坑钻孔灌注桩支护设计计算·····	(251)
【例 8-15】 锚桩埋置深度和接点位置计算·····	(252)
三、土钉墙设计·····	(252)
【例 8-16】 某基坑土钉墙支护设计·····	(254)
第九章 基础设计范例 ·····	(260)
第一节 工程概况 ·····	(260)
第二节 基础计算 ·····	(261)
一、正截面承载力计算·····	(261)
二、柱下独立承台 CT-1 计算·····	(263)
三、柱下独立承台 CT-2 计算·····	(266)
四、柱下独立承台 CT-3 计算·····	(272)
第十章 地基基础设计常用数据 ·····	(277)
参考文献 ·····	(340)

第一章 土的物理性质及分类

第一节 土的物理性质指标

一、反映土的松密程度的指标

1. 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,如式(1-1)和式(1-2):

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

式中 m, V 如图 1-1 所示。

$$\rho = \frac{d_s(1+w)\rho_w}{1+e} \quad (1-2)$$

式中及图中 e ——土的孔隙比;

V_s, V_w, V_a ——固体、水、气体部分的体积;

V_v ——土中孔隙的体积, $V_v = V_w + V_a$;

V ——土样的总体积, $V = V_s + V_v$;

m_s, m_w, m_a ——固体、水、气体部分的质量, m_a 可忽略;

m ——土样的总质量, $m = m_s + m_w$ 。

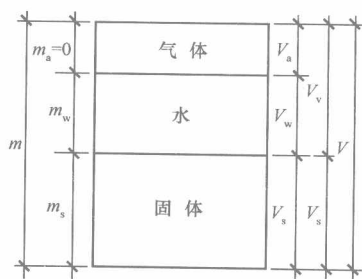


图 1-1 土样三相组成示意

2. 土粒的相对密度

土粒相对密度是土粒质量与同体积的水(在 4°C 时)的质量之比,用符号 d_s 表示,如式(1-3):

$$d_s = \frac{m_s}{m_w} = \frac{V_s \rho_s}{V_s \rho_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-3)$$

式中 ρ_s ——土粒密度(在 4°C 时);

ρ_w ——水的密度(在 4°C 时)。

3. 土的孔隙比和孔隙率

(1) 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,如式(1-4):

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-4)$$

式中 e ——孔隙比;

V_v ——孔隙体积;

V_s ——固体颗粒体积。

(2) 孔隙率是土中的孔隙体积与总体积之比,用符号 n 表示,如式(1-5):

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 n ——孔隙率;

V_v ——孔隙体积;

V ——总体积。

二、反映土中含水程度的指标

1. 土的含水量

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 ω 并以百分数表示,如式(1-6):

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 ω ——土的天然含水量;

m_w ——土中含水的质量;

m_s ——土粒的质量(重量)。

2. 土的饱和度

土的饱和度是土的孔隙体积中水占有的体积与孔隙体积之比,用 S_r 并以百分数表示,如式(1-7):

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 S_r ——土饱和度;

V_w ——孔隙中水的体积;

V_v ——孔隙体积。

三、特定条件下土的密度

1. 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,如式(1-8):

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

土的干重度为 γ_d ,如式(1-9):

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

上两式中 ρ_d ——土的干密度;

γ_d ——土的干重度;

m_s ——固体部分质量;

g ——重力加速度。

2. 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,如式(1-10):

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1-10)$$

土的饱和重度为 γ_{sat} ,如式(1-11):

$$\gamma_{sat} = \rho_{sat} g \quad (1-11)$$

式中 ρ_{sat} ——土饱和密度;

γ_{sat} ——饱和重度。

3. 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扣去固体颗粒排开水的质量(即扣去浮力)与土样的总体积之比,称为浮密度,用符号 ρ' 表示,如式(1-12):

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho'_w}{V} \quad (1-12)$$

土的浮重度为 γ' ,如式(1-13):

$$\gamma' = \rho' g \quad (1-13)$$

从浮密度和浮重度的定义可得式(1-14)和式(1-15):

$$\rho' = \rho_{\text{sat}} - \rho_w \quad (1-14)$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad (1-15)$$

土的常见物理性质指标换算见表 1-1。

表 1-1 土的基本物理性质指标

指标名称	符号	单位	物理意义	表达式以及常用换算公式
密度	ρ	t/m ³	单位体积土的质量,又称质量密度	$\rho = \frac{m}{V}; \rho = \rho_d(1+w)$ $\rho = \frac{d_s + s_r e}{1+e} \rho_w$
重度	γ	kN/m ³	单位体积土所受的重力,又称重力密度	$\gamma = \frac{W}{V}$ 或 $\gamma = \rho g$ $\gamma = \frac{d_s(1+0.01w)}{1+e}$
相对密度	d_s		土粒单位体积的质量与 4℃ 时蒸馏水的密度之比	$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w}; d_s = \frac{S_r e}{w}; d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w}$
干密度	ρ_d	t/m ³	土的单位体积内颗粒的质量	$\rho_d = \frac{m_s}{V}; \rho_d = \frac{\rho}{1+w}; \rho_d = \frac{d_s}{1+e}$
干重度	γ_d	kN/m ³	土的单位体积内颗粒的重力	$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$ 或 $\rho_d g; \gamma_d = \frac{1}{1+w} \gamma$ $\gamma_d = \frac{d_s}{1+e}$
含水量	w	%	土中水的质量与颗粒质量之比	$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100; w = \frac{S_r e}{d_s} \times 100$ $w = \left(\frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 \right) \times 100$
饱和密度	ρ_{sat}	t/m ³	土中孔隙完全被水充满时土的密度	$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$ $\rho_{\text{sat}} = \rho_d + \frac{e}{1+e}; \rho_{\text{sat}} = \frac{d_s + e}{1+e} \rho_w$
饱和重度	γ_{sat}	kN/m ³	土中孔隙完全被水充满时土的重度	$\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} g$ $\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}; \gamma_{\text{sat}} = \frac{d_s + e}{1+e} \gamma_w$