

全国水利水电高职教研会规划教材

道路桥梁工程技术专业适用

土力学与地基基础

主 编 余丹丹 张 延 邱 兰

主 审 王启亮



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国水利水电高职教研会规划教材

土力学与地基基础

主 编 余丹丹 张 延 邱 兰

主 审 王启亮



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以土力学作基本理论,以土的工程特性为核心,依据地基基础设计、施工的新规范、新标准编写而成的,共分8个学习项目,较系统地介绍了土的工程性质测试与鉴别,地基沉降量计算,地基土承载力的确定,挡土墙的设计,土质边坡稳定性评估,天然地基上的浅基础,桩基础与其他深基础,软弱土地基处理。为了便于学习中更好地了解 and 掌握核心内容,各学习项目正文前有学习目标,正文后有项目小结及项目测试题。

本书即可作为道路桥梁工程技术专业、建筑工程技术专业、工程监理专业、工程造价专业、工程检测等专业的教材,也可作为交通土建类相关专业及路桥工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础 / 余丹丹, 张延, 邱兰主编. --
北京: 中国水利水电出版社, 2014. 5
全国水利水电高职教研会规划教材
ISBN 978-7-5170-1935-0

I. ①土… II. ①余… ②张… ③邱… III. ①土力学—高等职业教育—教材②地基—基础(工程)—高等职业教育—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第080718号

书 名	全国水利水电高职教研会规划教材 土力学与地基基础
作 者	主编 余丹丹 张延 邱兰 主审 王启亮
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14.25印张 338千字
版 次	2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编 审 委 员 会

主 任 孙五继

副主任 孙敬华 黄伟军 王启亮 张 迪 王付全
满广生 蓝善勇

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 安	王庆河	王蓉蓉	方怀霞	方 崇
邓启述	田国锋	包永刚	吕春雨	汤能见
李万渠	李学明	李春亭	吴伟民	佟 欣
邱 兰	余丹丹	谷云香	汪文萍	张思梅
张晓战	陈卫东	林 辉	赵富田	钟汉华
贺 威	郭玉起	高 健	黄文彬	常红星
董千里	曾 波	袁汉琦	蔡 敏	

前言

qianyan



本书为全国水利水电高职教研会规划教材之一，是根据教育部制定的高职高专道路桥梁工程技术专业的基本要求，并结合目前教学改革发展的需要以及实际工程中专业的最新动态编写的。

“土力学与地基基础”是道路桥梁工程技术专业高职高专教学的一门专业基础课程。高职高专教育主要培养的是施工第一线的高素质技能型专门人才，本书根据职业教育的特点和内容，以“实用、实际、实效”为原则，紧贴现行有关标准规范，充分考虑到教学规律，与“工程地质”、“基础工程”等课程教材较好地衔接和分工，以便学生系统学习。

本书由余丹丹（湖北水利水电职业技术学院）、张延（安徽水利水电职业技术学院）、邱兰（湖北水利水电职业技术学院）任主编，王启亮（山西水利水电职业技术学院）任主审，孙其龙（黄河水利职业技术学院）、方怀霞（湖北水利水电职业技术学院）、包海玲（安徽水利水电职业技术学院）任副主编，严筱（云南省交通规划设计研究院）、张平（苏州市交通设计研究院有限责任公司）、王敏（湖北水利水电职业技术学院）任参编。全书由余丹丹统稿。

本书在编写过程中，参阅了许多相关教材和技术文献，在此一并对有关专家和作者致以诚挚的谢意。

由于编写人员水平有限，不妥之处敬请使用本书的教师和读者给予批评指正。

编者

2013年11月

目 录

前言

项目 1 土的工程性质测试与鉴别	1
任务 1.1 土的物理性质指标测试	1
1.1.1 土的形成	1
1.1.2 土的三相组成	2
1.1.3 土的物理性质指标	4
任务 1.2 土的物理状态的认知	9
1.2.1 无黏性土的密实状态	9
1.2.2 黏性土的稠度	10
1.2.3 塑性指数与液性指数	10
任务 1.3 土的击实性质测试	12
1.3.1 土的击实性及击实试验	12
1.3.2 影响土击实性的因素	13
1.3.3 现场质量检测	14
任务 1.4 土的渗透性认知	16
1.4.1 土的渗透性及渗透系数的检测	16
1.4.2 土的渗透力及渗透变形	21
任务 1.5 土的现场鉴别及工程分类	23
1.5.1 土的现场鉴别	23
1.5.2 土的粒组及颗粒级配	24
1.5.3 土的工程分类	28
项目小结	36
项目测试	36
项目 2 地基沉降量计算	38
任务 2.1 土中自重应力计算	38
2.1.1 均质土中的自重应力	38
2.1.2 成层土或有地下水时土中的自重应力	38
2.1.3 地下水位升降时土中的自重应力	39
2.1.4 基底压力	40
任务 2.2 地基附加应力计算	42
2.2.1 竖向集中力作用下地基中的附加应力	42

2.2.2	矩形基础地基中的附加应力	44
2.2.3	条形基础地基中的附加应力	48
任务 2.3	土的压缩性质认知	53
2.3.1	基本概念	53
2.3.2	侧限压缩试验与压缩性指标	53
2.3.3	土的受荷历史对压缩性的影响	56
2.3.4	现场静载荷试验及变形模量	57
任务 2.4	地基最终沉降量计算	59
2.4.1	分层总和法计算地基最终沉降量	60
2.4.2	“规范法”计算地基最终沉降量	63
2.4.3	弹性力学公式计算地基最终沉降量	67
2.4.4	地基变形验算	69
任务 2.5	地基沉降与时间的关系	70
2.5.1	饱和土的单向渗透固结模型	71
2.5.2	饱和土的单向渗透固结理论	71
项目小结		74
项目测试		75
项目 3	地基土承载力的确定	76
任务 3.1	土的抗剪强度认知	76
3.1.1	土的抗剪强度	76
3.1.2	库仑强度定律	77
3.1.3	莫尔—库仑强度理论	78
任务 3.2	土的抗剪强度指标测定	81
3.2.1	直接剪切试验	81
3.2.2	三轴剪切试验	83
3.2.3	无侧限抗压强度试验	85
3.2.4	十字板剪切试验	85
任务 3.3	地基承载力的确定	86
3.3.1	地基承载力	86
3.3.2	地基的破坏模式	86
3.3.3	理论公式法确定地基容许承载力	88
3.3.4	按规范法确定地基容许承载力	93
项目小结		97
项目测试		97
项目 4	挡土墙的设计	99
任务 4.1	挡土墙上的土压力	99
4.1.1	土压力的种类	100

4.1.2 土压力的影响因素	100
任务 4.2 土压力计算理论	101
4.2.1 静止土压力	101
4.2.2 朗肯土压力理论	102
4.2.3 库仑土压力理论	105
任务 4.3 挡土墙设计	109
4.3.1 挡土墙的类型及用途	109
4.3.2 挡土墙的计算	110
项目小结	115
项目测试	115
项目 5 土质边坡稳定性评估	116
任务 5.1 土质边坡的破坏形式	116
任务 5.2 土质边坡稳定性分析方法	117
5.2.1 无黏性土坡的稳定性	117
5.2.2 黏性土坡的稳定性	118
5.2.3 土质边坡坡度容许值	120
项目小结	121
项目测试	121
项目 6 天然地基上的浅基础	122
任务 6.1 浅基础的类型及构造	122
6.1.1 浅基础的类型	122
6.1.2 地基基础设计的基本规定	126
6.1.3 浅基础的构造	128
任务 6.2 基础埋深及尺寸设计	131
6.2.1 浅基础埋深选择	131
6.2.2 基础底面尺寸的选择	135
6.2.3 浅基础设计	141
6.2.4 减轻地基不均匀沉降的措施	149
任务 6.3 浅基础施工	157
6.3.1 旱地基坑施工	157
6.3.2 基坑排水	161
项目小结	162
项目测试	162
项目 7 桩基础与其他深基础	164
任务 7.1 桩基础及桩的分类	164
7.1.1 桩基础的类型	164
7.1.2 桩基设计原则	165

7.1.3	桩按施工方法分类	165
7.1.4	桩按荷载传递方式分类	169
7.1.5	桩按设置效应分类	170
任务 7.2	桩的承载力计算	171
7.2.1	单桩的竖向承载力	171
7.2.2	单桩的水平承载力	174
7.2.3	群桩竖向承载力	176
任务 7.3	桩基础设计	178
7.3.1	桩的类型及几何尺寸的选择	178
7.3.2	单桩承载力的确定	179
7.3.3	确定桩数与平面布置	179
7.3.4	承台设计	182
任务 7.4	其他深基础认知	190
7.4.1	沉井基础	190
7.4.2	沉箱基础	192
7.4.3	地下连续墙	192
任务 7.5	桩基础施工	193
7.5.1	预制沉桩施工	193
7.5.2	钻孔灌注桩施工	198
7.5.3	挖孔灌注桩施工	205
项目小结		206
项目测试		206
项目 8	软弱土地基处理	208
任务 8.1	软弱土地基及不良特性	208
8.1.1	软弱土地基的概念	208
8.1.2	常见软弱土	208
8.1.3	软弱地基的特点	209
任务 8.2	软弱土地基的处理方法	211
8.2.1	换填垫层法	211
8.2.2	预压法	213
8.2.3	强夯法和强夯置换法	214
8.2.4	振冲法	215
8.2.5	高压喷射注浆法	216
8.2.6	水泥土搅拌法	217
项目小结		217
项目测试		218
参考文献		219

项目 1 土的工程性质测试与鉴别

学习目标

掌握土的物理性质指标及物理状态指标的测试；了解土的最大干密度及最优含水率的确定方法并能对土的压实质量进行检测；能熟练利用所学知识测定土的渗透系数、对渗透变形采取防治措施；掌握对土进行颗粒分析、现场鉴别方法及工程分类。

任务 1.1 土的物理性质指标测试

1.1.1 土的形成

地球是由地壳、地幔和地核组成。地壳是地球表层坚硬的固体外壳，主要由各种岩石组成，岩石在大气中经受长期的风化、剥蚀、搬运、沉积等作用而破碎，破碎后形成形状不同、大小不一的颗粒，这些颗粒受各种自然力的作用，在各种不同的自然环境下堆积下来，就形成通常所说的土。土具有多孔性、多样性和易变性，土与土木工程建筑有着密切的联系，工程中常将土作为建筑物的地基、建筑材料和建筑物的周围环境。

岩石风化作用按其性质及影响因素不同，可分为物理风化、化学风化和生物风化三种。

物理风化指岩石由于温度、水、波浪冲击等产生物理因素引起的机械破坏作用。岩石经物理风化作用后破碎形成的矿物颗粒，称原生矿物。原生矿物在风化过程中，其化学成分并没有发生变化，它与母岩的矿物成分是相同的。常见的原生矿物有石英、长石和云母等，

化学风化指岩石在水及各种水溶液的作用下，经氧化、炭化和水化所引起的破坏作用。这种作用不仅使岩石块体在大小上发生变化，更主要的是使岩石成分发生变化。岩石经化学风化作用所形成的矿物颗粒，称次生矿物，次生矿物的矿物成分与母岩不同。常见的次生矿物有高岭石、伊利石（水云母）和蒙脱石（微晶高岭石）等三大黏土矿物。另外，还有一类易溶于水的次生矿物，称水溶盐。黏性土中的水溶盐，通常是由土中的水溶液蒸发后沉淀充填在土孔隙中的，它构成了土粒间不稳定的胶结物质。如黏性土中含有水溶盐类矿物，遇水溶解后会被渗透水流带走，导致地基产生集中渗流，引起不均匀沉降以及强度降低。

生物风化指岩石在生物活动作用下所引起的破坏作用。这种作用包括机械作用（如植物根在岩缝中生长，像楔子一样劈裂岩石）和化学作用（如生物新陈代谢析出的有机酸等对岩石的破坏作用）两种，另外，人类的生产活动对风化也产生一定的影响。

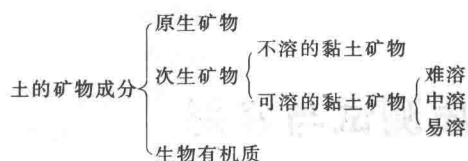


图 1.1 土的矿物成分

土的矿物成分如图 1.1 所示。

1.1.2 土的三相组成

在天然状态下，土一般是由固体、液体和气体三部分组成，这三部分通常称为土的三相。其中固相即为土颗粒，它构成土的骨架，土骨架之间存在有许多孔隙，孔隙中由水和气体所填充；水和溶解于水的物质构成土的液相；空气以及其他一些气体构成土的气相。若土中孔隙全部由气体所填充时，称为干土；若孔隙全部由水所充填时，称为饱和土；若孔隙中同时存在水和气体时，称为湿土。湿土为三相系，饱和土和干土都是二相系。

土中三相物质本身的特性以及它们之间的相互作用，对土的性质有着本质的影响。土的性质不仅只取决于三相组成中各相本身的特性，而且三相之间量的比例关系也是一个非常重要的影响因素。如对于无黏性土，密实状态强度高，松散时强度低；而对于细粒土，含水少时硬，含水多时则软。所以把土体三相间量的比例关系称为土的物质性质指标，工程中常用土的物质性质指标作为评价土的工程性质优劣的基本指标。

为了便于研究土中三相含量之间的比例关系，常常理想地把土中实际交错混杂在一起的三相含量分别集中在一起，并以图形式表示出来，该图称为土的三相草图，如图 1.2 所示。

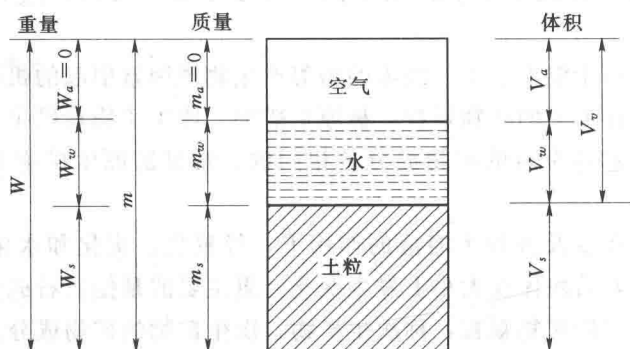


图 1.2 土的三相草图

图中各符号的意义如下： W 表示重量， m 表示质量， V 表示体积。下标 a 表示气体，下标 s 表示土粒，下标 w 表示水，下标 v 表示孔隙。如 W_s 、 m_s 、 V_s 分别表示土粒重量、土粒质量和土粒体积。

水在土中以固态、液态、气态三种形式存在，土中的水按存在方式不同，可分为以下类型，如图 1.3 所示。

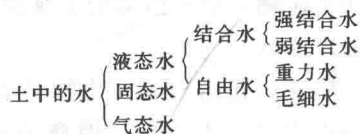


图 1.3 土中的水的类型



【思考题】

土的三相组成是什么？绘三相草图有何意义？

1.1.2.1 土中的水

1. 结合水

大多数黏土颗粒表面带有负电荷，因而围绕土粒周围形成了一定强度的电场，使孔隙中的水分子极化，这些极化后的极性水分子和水溶液中所含的阳离子（如钾、钠、钙、镁等阳离子），在电场力的作用下定向地吸附在土颗粒周围，形成一层不可自由移动的水膜，该水膜称为结合水。结合水又可根据受电场力作用的强弱分成强结合水和弱结合水，如图 1.4 所示。

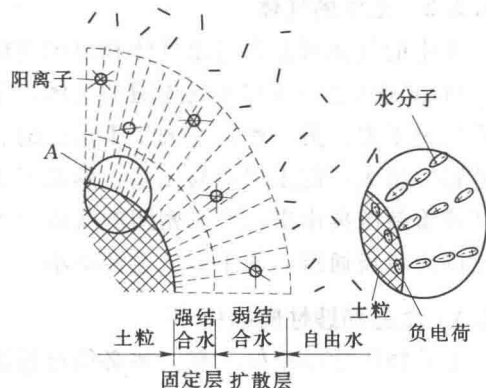


图 1.4 土粒与水分子相互作用模拟图

(1) 强结合水。强结合水是指被强电场力紧紧地吸附在土粒表面附近的结合水膜（又称吸着水）。其密度约为 $1.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ ，冰点很低，可达 -78°C ，沸点较高，在 105°C 以上才可以被释放，而且很难移动，没有溶解能力，不传递静水压力，失去了普通水的基本特性，其性质与固体相近，具有很大的黏滞性和一定的抗剪强度。

(2) 弱结合水。弱结合水是指分布在强结合水外围吸附力稍低的结合水（又称薄膜水）。这部分水膜由于距颗粒表面较远，受电场力作用较小，它与土粒表面的结合不如强结合水紧密。其密度约为 $1.0 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ ，冰点低于 0°C ，不传递静水压力，也不能在孔隙中自由流动，只能以水膜的形式由水膜较厚处缓慢移向水膜较薄的地方，这种移动不受重力影响。

2. 自由水

土孔隙中位于结合水以外的水称自由水，自由水由于不受土粒表面静电场力的作用，且可在孔隙中自由移动，按其运动时所受的作用力不同，可分为重力水和毛细水。

(1) 重力水。受重力作用而运动的水称重力水。重力水位于地下水位以下，重力水与一般水一样，可以传递静水和动水压力，具有溶解能力，可溶解土中的水溶盐，使土的强度降低，压缩性增大；可以对土颗粒产生浮托力，使土的重力密度减小；它还可以在水头差的作用下形成渗透水流，并对土粒产生渗透力，使土体发生渗透变形。



图 1.5 毛细水上升示意图

(2) 毛细水。土中存在着很多大小不同的孔隙，这些孔隙有的可以相互连通形成弯曲的细小通道（毛细管），由于水分子与土粒表面之间的附着力和水表面张力的作用，地下水将沿着土中的细小通道逐渐上升（图 1.5），形成一定高度的毛细水带，地下水位以上的自由水称为毛细水。

毛细水上升的高度取决于土的粒径、矿物成分、孔隙的大小和



形状等因素,一般黏性土上升的高度较大,而砂土的上升高度较小。在工程实践中,毛细水的上升可能使地基浸湿,使地下室受潮或使地基、路基产生冻胀,造成土地盐渍化等问题。

【思考题】

各种类型的水对土的性质有何影响?

1.1.2.2 土中的气体

土中的气体可分为自由气体和封闭气体两种基本类型。

自由气体是一种与大气连通的气体,受外荷作用时,易被排出土外,对土的工程力学性质影响不大。另一种是与大气不连通的、以气泡形式存在的封闭气体,封闭气体可以使土的弹性增大,使土层不易压实,延长了土的压缩过程,而当压力减小时,气泡就会恢复原状或重新游离出来,所以密闭的气体对土的工程性质有很大影响,此外封闭气体还能阻塞土内的渗流通道,使土的渗透性减小。

1.1.3 土的物理性质指标

土的物质性质指标,有一些必须通过试验测定,称为实测指标,又称基本指标,包括含水率、密度和相对密度;另外一些可以根据实测指标经过换算得出,称为换算指标,又称计算指标,包括孔隙比、孔隙率、饱和度、土的重度、干密度、饱和密度、浮重度等,下面将分别介绍这两类指标。

1.1.3.1 实测指标

1. 含水率 ω

土的含水率是指土中水的质量与土粒质量的比,以百分数表示,其表达式为

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1.1)$$

土的含水率是反映土干湿程度的指标,是土的一个重要的基本物理指标,用于计算土的干密度、孔隙比、液性指数、饱和度等项指标。在天然状态下,土的含水率变化幅度很大,一般来说,砂土的含水率 $\omega = 0 \sim 40\%$,黏性土的含水率 $\omega = 15\% \sim 60\%$;淤泥或泥炭的含水率可高达 $100\% \sim 300\%$ 。

2. 密度 ρ

土的质量密度是指单位体积土的质量。常用 ρ (g/cm^3) 表示,其表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V} \quad (1.2)$$

一般天然土的密度为 $1.6 \sim 2.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。密度是土的一个重要基本物理指标,是了解土的疏密状态,供换算土的其他物理性质指标和工程设计及施工质量控制之用。

3. 相对密度 G_s

土粒相对密度是指土在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 温度下烘至恒重时的质量与同体积 4°C 时纯水的质量之比,简称相对密度,其表达式为

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (1.3)$$



式中 ρ_w ——4℃时纯水的密度, 取 $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ 。

相对密度是土的基本物理性质指标之一, 也是评价土类的主要指标。土粒相对密度一般约为 2.60~2.80, 其值主要取决于土的矿物成分和有机质含量, 颗粒越细比重越大。

1.1.3.2 土的物理性质指标间的换算

1. 孔隙比 e

土的孔隙比是指土体孔隙体积与土颗粒体积之比, 其表达式为

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1.4)$$

2. 孔隙率 n

土的孔隙率是指土体孔隙体积与总体积之比, 常用百分数表示, 其表达式为

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1.5)$$

孔隙率表示的孔隙体积占土的总体积的百分数, 所以其值恒小于 100%。

土的孔隙比主要与土粒的大小及其排列的松密程度有关。一般砂土的孔隙比为 0.4~0.8, 黏土为 0.6~1.5, 有机质含量高的土, 孔隙比甚至可高达 2.0 以上。孔隙比和孔隙率都是反映土的密实程度的指标。对于同一种土 e 或 n 愈大, 表明土愈疏松; 反之, 土愈密实。在计算地基沉降量和评价砂土的密实度时, 常用孔隙比而不用孔隙率。

3. 饱和度 S_r

饱和度反映土中孔隙被水充满的程度, 饱和度是土中水的体积与孔隙体积之比, 用百分数表示, 其表达式为

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1.6)$$

理论上, 当 $S_r = 100\%$ 时, 表示土体孔隙中全部充满了水, 土是完全饱和的; 当 $S_r = 0$ 时, 表明土是完全干燥的。实际上, 土在天然状态下是极少达到完全干燥或完全饱和状态。因为风干的土仍含有少量水分, 即使完全浸没在水下, 土中还可能会有一些封闭气体存在。

按饱和度的大小, 可将土分为以下几种不同的湿润状态:

稍湿	$S_r \leq 50\%$
很湿	$50\% < S_r \leq 80\%$
饱和	$S_r > 80\%$

4. 土的重度 γ

土的重度是指单位体积土体所受的重力, 常用 γ (kN/m^3) 表示, 其表达式为

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \quad (1.7)$$

$$\gamma = \rho g \quad (1.8)$$



式中 g ——重力加速度,在国际单位制中常用 9.81m/s^2 ,为换算方便,也可近似用 $g=10\text{m/s}^2$ 进行计算。

5. 干密度 ρ_d

土的干密度 ρ_d (g/cm^3) 是指单位土体中土粒的质量,即土体中土粒质量 m_s 与总体积 V 之比,表达式为

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1.9)$$

单位体积的干土所受的重力称为干重度 γ_d (kN/m^3),可按下式计算:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (1.10)$$

土的干密度(或干重度)是评价土的密实程度的指标,干密度大表明土密实,干密度小表明土疏松。因此,在填筑堤坝、路基等填方工程中,常把干密度作为填土设计和施工质量控制指标。

6. 饱和密度 ρ_{sat}

土的饱和密度 ρ_{sat} (kN/m^3) 是指土在饱和状态时,单位体积土的密度。此时,土中的孔隙完全被水所充满,土体处于固相和液相的二相状态,其表达式为

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + m'_w}{V} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1.11)$$

式中 m'_w ——土中孔隙全部充满水时水的质量;

ρ_w ——水的密度, $\rho_w = 1\text{g/cm}^3$ 。

饱和重度 $\gamma_{sat} = \rho_{sat} g$ 。

7. 浮重度 γ'

土在水下时,单位体积的有效重量称为土的浮重度 γ' (kN/m^3),或称有效重度。地下水位以下的土,由于受到水的浮力的作用,土体的有效重量应扣除水的浮力的作用,浮重度的表达式为

$$\gamma' = \frac{w_s - V_v \gamma_w}{V} \quad (1.12)$$

同一种土四种重度的数值上关系是: $\gamma_{sat} > \gamma > \gamma_d > \gamma'$ 。

土的密度 ρ 、土粒比重 G_s 和含水率 ω 三个指标是通过试验测定的。在测定这三个指标后,其他各指标可根据它们的定义并利用土中三相关系导出其换算公式。例如

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{m_s}{m/r} = \frac{r m_s}{m_s + m_w} = \frac{\rho}{1 + \omega} \quad (1.13)$$

土的物理性质指标都是三相基本物理量间的相对比例关系,换算指标可假定 $V_s=1$ 或 $V=1$,根据定义利用三相草图算出各相的数值,取三相图中任一个基本物理量等于任何数值进行计算都应得到相同的指标值。

实际工程中,为了减少计算工作量,可根据表 1.1 给出的土的物理性质指标的关系及其最常用的计算公式,直接计算。



表 1.1

土的物理性质指标及换算公式

指标	符号	表 达 式	换 算 公 式
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{G_s \rho_w (1 + \omega)}{\rho} - 1, e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1, e = \frac{\omega G_s}{s_r}, e = \frac{n}{1 - n}$
干重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{m_s g}{V}$	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega}, \gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}, \gamma_d = \frac{n S_r \gamma_w}{\omega}$
饱和重度	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{m_s g + V_v \gamma_w}{V}$	$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e}, \gamma_{sat} = \gamma' + \gamma_w, \gamma_{sat} = \gamma_d + n \gamma_w$
浮重度	γ'	$\gamma' = \frac{m_s g - V_v \gamma_w}{V}$	$\gamma' = \frac{(G_s - 1) \gamma}{G_s (1 + \omega)}, \gamma' = \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1 + e}, \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w, \gamma' = (G_s - 1) (1 - n) \gamma_w$
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{\omega G_s \gamma}{G_s \gamma_w (1 + \omega) - \gamma}, S_r = \frac{\omega G_s}{e}, S_r = \frac{\omega G_s \gamma_d}{G_s \gamma_w - \gamma_d}, S_r = \frac{\gamma (1 + e) - G_s \gamma_w}{e \gamma_w}$
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = 1 - \frac{\gamma}{G_s \gamma_w (1 + \omega)}, n = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s \gamma_w}, n = \frac{e}{1 + e}$

【思考题】

土的物理性质指标哪几个是实测指标？物理性质指标各在工程中有什么作用？

【例 1.1】 用环刀测密度，已知环刀体积 $V = 60 \text{ cm}^3$ 、环刀质量是 53.5 g 、环刀及土的总质量是 166.3 g ，取质量为 94.00 g 的湿土，烘干后为 75.63 g ，测得土样的比重 $G_s = 2.68$ 。求该土的天然重度 γ 、天然含水率 ω 、干重度 γ_d 、孔隙比 e 和饱和度 S_r ，各为多少？

解：

(1) 重度。

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{166.3 - 53.50}{60} = 1.88 (\text{g/cm}^3)$$

$$\gamma = \rho g = 1.88 \times 9.81 = 18.44 (\text{kN/m}^3)$$

(2) 含水率。

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\% = \frac{94.00 - 75.63}{75.63} \times 100\% = 24.30\%$$

(3) 干重度。

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega} = \frac{18.44}{1 + 0.243} = 14.84 (\text{kN/m}^3)$$

(4) 孔隙比。

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1 = \frac{2.68 \times 9.81}{14.84} - 1 = 0.772$$

(5) 饱和度。

$$S_r = \frac{\omega G_s}{e} \times 100\% = \frac{0.243 \times 2.68}{0.772} \times 100\% = 84.4\%$$

【例 1.2】 某一干砂试样的密度为 1.66 g/cm^3 ，土粒的比重为 2.7 ，将此干砂试样置于雨中，若砂样体积不变，饱和度增加到 60% ，试计算此湿砂的密度和含水率。



解：由

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{G_s \rho_w}{1+e}$$

$$e = \frac{G_s \rho_w}{\rho_d} - 1 = \frac{2.7 \times 1}{1.66} - 1 = 0.627$$

由

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\omega G_s}{e}$$

$$\omega = \frac{S_r e}{G_s} = \frac{0.6 \times 0.627}{2.7} = 13.9\%$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G_s(1+\omega)\rho_w}{1+e} = \frac{2.7 \times (1+0.139)}{1+0.627} = 1.89(\text{g/cm}^3)$$

【例 1.3】某原状土样，经试验测得土的湿重度 $\gamma = 18.44 \text{ kN/m}^3$ ，天然含水率 $\omega = 24.3\%$ ，土粒的比重 $G_s = 2.68$ ，试利用三相草图求该土样的干重度 γ_d 、饱和重度 γ_{sat} 、孔隙比 e 和饱和度 S_r 。

解：

(1) 求基本物理量。设 $V = 1(\text{m}^3)$ 。

1) 求 W_s 、 W_w 、 W 。由 $\gamma = \frac{W}{V}$

$$W = \gamma V = 18.44 \times 1 = 18.44(\text{kN})$$

又

$$\omega = \frac{W_w}{W_s}$$

$$W_w = \omega W_s = 0.243 W_s$$

$$W = W_s + W_w = W_s + 0.243 W_s = 18.44$$

$$W_s = \frac{18.44}{1.243} = 14.84(\text{kN})$$

$$W_w = 0.243 W_s = 0.243 \times 14.84 = 3.61(\text{kN})$$

2) 求 V_s 、 V_w 、 V_v 。由 $G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$

$$V_s = \frac{W_s}{G_s \gamma_w} = \frac{14.84}{2.68 \times 9.81} = 0.564(\text{m}^3)$$

又

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{3.61}{9.81} = 0.368(\text{m}^3)$$

$$V_v = V - V_s = 1.0 - 0.564 = 0.436(\text{m}^3)$$

(2) 求 γ_d 、 e 、 S_r 。

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{14.84}{1} = 14.84(\text{kN/m}^3)$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.436}{0.564} = 0.773$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% = \frac{0.368}{0.436} \times 100\% = 84.4\%$$