

国家骨干高职院校重点建设专业系列教材·建筑工程技术专业

主 审 / 李秋全 陈建仓

土方与地基基础 工程施工



主 编 / 苏仁权



西北大学出版社

国家骨干高职院校重点建设专业系列教材·建筑工程技术专业

主 审 / 李秋全 陈建仓

土方与地基基础 工程施工

主 编 / 苏仁权

副主编 / 张学钢

参 编 / 杨佐泰 肖小辉

孙常锋 赵向锋



西北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土方与地基基础工程施工 / 苏仁权主编. —西安:
西北大学出版社, 2015.8

ISBN 978-7-5604-3706-4

I. ①土… II. ①苏… III. ①土方工程—工程施工—
—高等教育—教材 ②地基—基础(工程)—工程施工—
—高等教育—教材 IV. ①TU75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 194788 号

土方与地基基础工程施工

苏仁权 主编

西北大学出版社出版发行

(西北大学内 邮编: 710069 电话: 029-88303042 88303593)

新华书店经销 陕西向阳印务有限公司印刷

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 22

2015 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 2 次印刷

字数: 460 千字

ISBN 978-7-5604-3706-4 定价: 59.90 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换, 电话 029-88302966。

国家骨干高职院校重点建设专业
建筑工程技术专业系列教材编委会人员名单

编委会主任 王长友（陕西铁路工程职业技术学院）

编委会委员（按姓氏笔画排序）

于 斌（中国核工业第二二建设有限公司）

王建营（中铁建工集团上海分公司）

王顺绪（陕西建工集团机械施工有限公司）

付明虎（中铁一局集团城市建设工程有限公司）

杜志崇（中国核工业第二二建设有限公司）

陈建仓（中铁一局集团建筑安装工程有限公司）

李昌宁（中铁一局集团技术研发中心）

张学钢（陕西铁路工程职业技术学院）

李秋全（陕西铁路工程职业技术学院）

李保群（中铁一局集团建筑安装工程有限公司）

张修身（陕西铁路工程职业技术学院）

李 崑（陕西建工集团总公司）

张鹏茂（中铁一局集团城市建设工程有限公司）

周安福（陕西铁路工程职业技术学院）

聂成玉（中铁建工集团西北分公司）

焦胜军（陕西铁路工程职业技术学院）

瞿海雁（中建钢构有限公司（北京））

前 言

本教材是骨干院校国家级重点建设专业——建筑工程技术专业的课程改革成果之一。人才培养模式的改革是专业改革的重中之重，本专业的改革实施方案是借鉴德国的职业教育模式，结合中国国情，构建以工作过程为导向的人才培养方案。根据改革实施方案和课程改革的基本思想，通过分析建筑工程施工的工作过程，结合岗位要求和职业标准，形成建筑工程施工的行動领域，将原学科体系进行解构，按照土方与地基基础工程施工的一个完整工作过程，把施工过程中所需要的知识、能力和素质，重构成《土方与地基基础工程施工》4个学习领域，涉及到原学科体系中的《建筑材料》《建筑识图》《建筑构造》《建筑施工》《施工组织》《建筑结构》等课程。

本教材具有以下特点：在内容上突破了传统教材的学科体系束缚，以工作过程为主线、以施工项目为情境单元，以实际工作技能为重点，配以大量的插图，主要项目中又增加了工程实例，更为简单实用，易学易懂，通过实验和实训的操作训练，便于学生熟练掌握相关知识，并加深对国家标准、规范的理解和掌握，使学生更符合实际工作岗位的要求。

本教材共四个项目：工程地质勘查、土方工程施工、地基处理、基础工程施工。每个项目内含若干学习任务，着重介绍各部分工程施工图识读、土方机械的选择、施工工艺与技术、质量标准与验收等内容。本书内容的取舍，注重针对性，坚持以企业需求为基本依据、以就业为导向的原则；在教材内容的组织和表达上，力求体现教学内容的先进性和教学组织的灵活性。同时，为满足项目法、案例法教学的需要，教材内容在充分反映现行国家标准、行业标准和有关技术政策的基础上，尽力使每一教学课题的理论知识与实践技能相结合，体现了较强的实用性。

本教材由陕西铁路工程职业技术学院苏仁权主编。全书4个项目、15个任务由学校与企业人员共同编写。本书项目一、二、三、四由苏仁权负责编写，参与编写的有陕西铁路工程职业技术学院张学钢（项目一 任务2）、中铁一局城建公司杨佐泰（项目二 任务4）、恒大地产集团西安公司肖小辉（项目四 任务1）、中铁十七局电气化公司孙常峰（项目三 任务3）、中铁十七局四公司赵向峰（项目四 任务5）。

本教材在编写中引用了大量的规范、专业文献和资料，恕未在书中一一注明。由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请广大师生和读者对书中存在的缺点和疏漏，提出批评指正，编者不胜感激。

建筑工程系

2015-08-27

目 录

学习情景一 工程地质勘察

任务一 工程地质勘察报告的阅读	1
任务二 室内土工实验	23

学习情景二 土方工程施工

任务一 工程场地平整	32
任务二 土方开挖	44
任务三 土方回填与压实	63
任务四 深基坑支护与监测	71
任务五 基坑降水与排水	97

学习情景三 地基处理工程

任务一 换填垫层法地基施工	105
任务二 强夯法地基施工	114
任务三 挤密桩法地基施工	121

学习情景四 基础工程施工

任务一 条形基础施工	136
任务二 钢筋混凝土独立基础施工	154
任务三 钢筋混凝土筏板基础施工	162
任务四 钢筋混凝土灌注桩基础施工	179
任务五 钢筋混凝土预制桩基础施工	201
附件 1: 工程地址勘察报告	222

参考文献	240
------------	-----

工程地质勘察

任务一 工程地质勘察报告的阅读

一 土的分类

(一) 土的基本分类

土是岩石风化、搬运、沉积所形成的产物。

按照土的成因不同，如图 1-1-1 ~ 1-1-3 所示，土可分类以下五类：

(1) 残积土：残积土是由岩石风化后，未经搬运而残留于原地的土。它处于岩石风化壳的上部，是风化壳中的剧烈风化带，向下则逐渐变为半风化的岩石。它的分布主要受地形的控制，在雨水产生地表径流速度小，风化产物易于保留的地方，残积物就比较厚。在不同的气候条件下、不同的原岩，将产生不同矿物成分、不同物理学性质的残积土。我国南方花岗岩分布广泛，如深圳地区约占 60% 的面积，花岗岩残积土的厚度在 15m ~ 40m 之间，是该区城市建筑物基础的主要持力层。

(2) 坡积土：坡积土是残积土经水流搬运，顺坡移动堆积而成的土。其成分与坡上的残积土基本一致。由于地形的不同，其厚度变化大，新近堆积的坡积土，土质疏松，压缩性较高。

(3) 洪积土：洪积土是山洪带来的碎屑物质，在山沟的出口处堆积而成的土。山洪流出沟谷后，由于流速骤减，被搬运的粗碎屑物质首先大量堆积下来，离山渐远，洪积物的颗粒随之变细，其分布

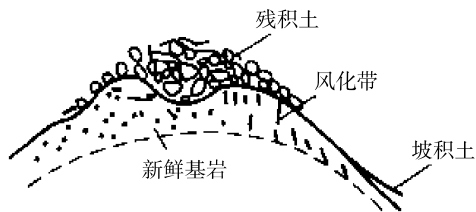


图 1-1-1 残积土示意图

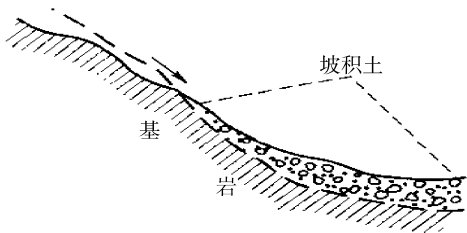


图 1-1-2 坡积土示意图

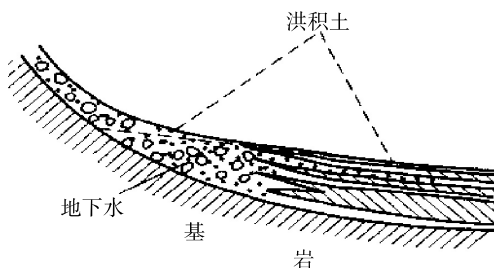


图 1-1-3 洪积土示意图

范围也逐渐扩大。其地貌特征，靠山近处窄而陡，离山较远宽而缓，形如锥体，故称为洪积扇。山洪是周期性发生的，每次的大小不尽相同，堆积下来的物质也不一样，因此，洪积土常呈现不规则交错的层理。由于靠近山地的洪积土的颗粒较粗，地下水位埋藏较深，土的承载力一般较高，常为良好地基；离山较远地段较细的洪积土，土质软弱而承载力较低。

(4) 冲积土：冲积土是由于河流的流水作用，将碎屑物质搬运堆积在它流经的区域内，随着从上游到下游水动力的不断减弱，搬运物质从粗到细逐渐沉积下来，一般在河流的上游以及出山口，沉积有粗粒的碎石土、砂土，在中游丘陵地带沉积有中粗粒的砂土和粉土，在下游平原三角洲地带，沉积了最细的黏土。冲积土分布广泛，特别是冲积平原是城市发达、人口集中的地带。对于粗粒的碎石土、砂土，是良好的天然地基，但如果作为水工建筑物的地基，由于其透水性好会引起严重的坝下渗漏；而对于压缩性高的黏土，一般都需要处理地基。

(5) 其他沉积土：如风积土是由风作为搬运动力，将碎屑物由风力强的地方搬运到风力弱的地方沉积下来的土。风积土生成不受地形的控制，我国的黄土就是典型的风积土。主要分布在沙漠边缘的干旱与半干旱气候带。风积黄土的结构疏松，含水量小，浸水后具有湿陷性。

(二) 土的工程分类

1. 按照主要组成的颗粒大小分类

按土的主要组成颗粒大小以及工程性质对地基土进行分类，可分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土。

(1) 岩石：颗粒间牢固连接，呈整体或具有节理裂隙的岩体，可按岩石的坚硬程度分类（表 1-1-1），也可按岩石的完整程度分类（表 1-1-2），当缺乏试验资料的时候还可通过现场观察法（野外鉴别法）来确定，如表 1-1-10，1-1-11 所示。

表 1-1-1 岩石坚硬程度等级的定性分类

坚硬程度等级		定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎，基本无吸水反应	未风化或微风化花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎，有轻微吸水反应	1. 微风化的坚硬岩石 2. 未风化的大理岩、板岩、石灰岩、白云岩、钙质砂岩等
软质岩	较软岩	锤击声不清脆，无回弹，轻易击碎，浸水后指甲可刻出印痕	1. 中风化或强风化的坚硬岩或较硬岩 2. 未风化或微风化的凝灰岩、千枚岩、泥灰岩、砂质泥岩等
	软岩	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，浸水后手可捏碎，瓣开	1. 强风化的坚硬岩或较硬岩 2. 中风化或强风化的较软岩 3. 未风化或微风化的页岩、泥岩、泥质砂岩等
极软岩		锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，浸水后手可捏成团	1. 全风化的各种岩石 2. 各种半成岩

表 1-1-2 岩体完整程度的定性分类

完整程度	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距 m			
完整	1~2	> 1	结合好或结合一般	裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构
完整	1~2	> 1	结合好或结合一般	裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	1~0.4	结合差		块状结构
较破碎	2~3	1~0.4	结合差	裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	≥3	0.4~0.2	结合好		镶嵌碎裂结构
			结合一般		中、薄层状结构
破碎	≥3	0.4~0.2	结合好或结合一般	各种类型结构面	裂隙块状结构
		≤0.2	结合差		碎裂状结构
极破碎	无序		结合很差		散体状结构

说明：平均间距为主要结构面（1~2组）间距的平均值。

(2) 碎石土：指颗粒直径大于 2mm 的颗粒超过全重的 50% 的土，它按照颗粒的形状及粒组的含量分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾、角砾，如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 碎石类土的分类

土的名称	颗粒形状	粒组含量
漂石土	圆形或亚圆形为主	粒径大于 200mm 的颗粒超过总质量的 50%
块石土	棱角形为主	
卵石土	圆形或亚圆形为主	粒径大于 20mm 的颗粒超过总质量的 50%
碎石土	棱角形为主	
圆砾土	圆形或亚圆形为主	粒径大于 2mm 的颗粒超过总质量的 50%
角砾土	棱角形为主	

(3) 砂土：粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重 50%，粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土称为砂土，按粒组含量分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂，如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 砂土的分类

土的名称	粒组含量
砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒含量占全重的 25%—50%
粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒含量超过全重的 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒含量超过全重的 50%
细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过全重的 85%
粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过全重的 50%

(4) 粉土：指粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过 50%，塑性指数 $I_p \leq 10$ 的土，其工程性质介于砂土和黏性土之间。

(5) 黏性土：指塑性指数 $I_p > 10$ 的土，按塑性指数的大小可分为黏土和粉质黏土。

$I_p > 17$ 黏土， $10 < I_p \leq 17$ 粉质黏土

(6) 人工填土：人类活动堆填而成的土，其成分杂乱、不均匀。按照其组成的成分和方法，可以分为素填土、压实填土、杂填土、冲填土。

2. 按照开挖的难易程度分类

在建筑施工中，按照开挖的难易程度，土可分为八类：一类土（松软土）、二类土（普通土）、三类土（坚土）、四类土（沙砾坚土）、五类土（铁石）、六类土（次坚石）、七类土（坚石）、八类土（特坚石），如表 1-1-5 所示。一至四类为土，五至八类为岩石。

表 1-1-5 土的分类

土的分类	土的名称	可松性系数		现场鉴别方法
		K _s	K' _s	
一类土 (松软土)	砂, 亚砂土, 冲积砂土层, 种植土, 泥炭(淤泥)	1.08—1.17	1.01—1.03	能用锹、锄头挖掘
二类土 (普通土)	亚黏土, 潮湿的黄土, 夹有碎石、卵石的砂, 种植土, 填筑土及亚砂土	1.14—1.28	1.02—1.05	用锹、锄头挖掘, 少许用镐翻松
三类土 (坚土)	软及中等密实黏土, 重亚黏土, 粗砾石, 干黄土及含碎石、卵石的黄土、亚黏土, 压实的填筑土	1.24—1.30	1.04—1.07	要用镐, 少许用锹、锄头挖掘, 部分用撬棍
四类土 (沙砾坚土)	重黏土及含碎石、卵石的黏土, 粗卵石, 密实的黄土, 天然级配砂石, 软泥灰岩及蛋白石	1.26—1.32	1.06—1.09	整个用镐、撬棍, 然后用锹挖掘, 部分用楔子及大锤
五类土 (软石)	硬石炭纪黏土, 中等密实的页岩、泥灰岩、白垩土, 胶结不紧的砾岩, 软的石炭岩	1.30—1.45	1.10—1.20	用镐或撬棍、大锤挖掘, 部分使用爆破方法
六类土 (次坚石)	泥岩, 砂岩, 砾岩, 坚实的页岩, 泥灰岩, 密实的石灰岩, 风化花岗岩, 片麻岩	1.30—1.45	1.10—1.20	用爆破方法开挖, 部分用风镐
七类土 (坚石)	大理岩, 辉绿岩, 玢岩, 粗、中粒花岗岩, 坚实的白云岩、砂岩、砾岩、片麻岩、石灰岩, 风化痕迹的安山岩、玄武岩	1.30—1.45	1.10—1.20	用爆破方法开挖
八类土 (特坚硬石)	安山岩, 玄武岩, 花岗片麻岩, 坚实的细粒花岗岩、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩	1.45—1.50	1.20—1.30	用爆破方法开挖

土的物理性质指标

(一) 土的三相组成

土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的。土中的固体颗粒构成土的骨架，骨架之间存在大量的孔隙，孔隙中充满着液态水和空气。

同一地点土体的三相比例组成随环境变化。例如，天气的晴雨、季节变化、温度高低、地下水的升降及建筑物的荷载作用等，都会引起土的三相之间的比例产生变化。土的三相比例不同，土的状态和工程性质也各异，出现如稍湿与饱和、松散与密实、坚硬与软塑等不同的物理状态。当土中孔隙全部由气体填充时为干土，此时黏土呈坚硬状态，砂土呈松散状态；当土中孔隙由液态水和气体填充时为湿土，此时黏土多为可塑状态；当土中孔隙全部由液态水填充时为饱和土，此时细粉砂或粉土遇强烈地震可能发生液化。土的物理状态对于评定土的力学性质，特别是土的承载力和变形性质关系极大，因此，为了研究土的物理状态，就要掌握土的组成部分之间的比例关系。表示土体三相组成之间关系的指标被称为土的物理力学指标。

为了阐述和标记方便，把自然界中土的三相混合分布情况分别集中起来，固相集中于下部，液相居中部，气相集中于上部，并按适当比例画一个土的三相图（图 1-1-4），图的左边标出各相的质量，右边标出各相的体积。其中质量 m 和体积 V 的下标含义是： s 代表颗粒， w 代表水， a 代表空气， v 代表孔隙。气体的质量比其他两部分质量小很多，可忽略不计，即 $m_a = 0$ ，水的密度 $\rho_w = 1\text{t/m}^3$ ，则有数量关系 $V_w = m_w$ 。

总体积为 V ，颗粒体积为 V_s ，孔隙体积为 V_v ，水体积为 V_w ，气体体积为 V_a ，总质量为 m ，颗粒质量为 m_s ，水质量为 m_w 。空气质量略去不计。

土的总体积和总质量分别为： $V = V_s + V_w + V_a$

$$V_v = V_w + V_a$$

$$m = m_s + m_w$$

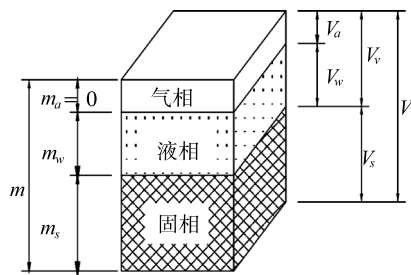


图 1-1-4 土的三相组成示意图

(二) 土的物理性质指标

1. 土的三项基本物理性质指标

土的密度（质量密度） ρ 和土的重力密度（简称重度） γ 、土粒相对密度 d_s 以及土的含水率是土的三项基本物理性质指标，其值均可由实验室直接测定。

(1) 土的密度 ρ 与重度 γ ：天然状态下（即保持原始状态或含水量不变）土的密度 ρ 为单位体积土内湿土的质量，为土的湿密度或天然密度。

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

土的重度为单位体积土的质量，即 $\gamma = \rho g = 9.8\rho \approx 10\rho$

(2) 土粒相对密度 d_s : 土粒相对密度是土体中固体颗粒的质量与同体积 4℃时纯水的质量之比, 无量纲。

$$d_s = \frac{m_s}{V_s} \cdot \frac{1}{\rho_{w1}} = \frac{\rho_s}{\rho_{w1}} \quad (1-1-2)$$

式中, ρ_s 为土粒密度 (g/cm^3); ρ_{w1} 为纯水在 4℃时的密度 (单位体积的质量), 等于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 或者 $1\text{t}/\text{m}^3$ 。

实际上, 土粒比重在数值上就等于土粒密度, 但前者无因次。土粒比重决定于土的矿物成分, 它的数值一般为 2.6~2.8; 有机质土为 2.4~2.5。同一种类的土, 其比重变化幅度很小。

土粒比重可在试验室内用比重瓶测定。将置于比重瓶内的土样在 105℃~110℃下烘干后冷却至室温用精密天平测其质量, 用排水法测得土粒体积, 并求得同体积 4℃纯水的质量, 土粒质量与其比值就是土粒比重。

由于比重变化的幅度不大, 通常可按下表经验数值选用。

土的名称	砂土	粉土	黏性土	
			粉质黏土	黏土
土粒比重	2.65~2.69	2.70~2.71	2.72~2.73	2.74~2.76

(3) 土的含水量 w : 土体中水的质量与固体颗粒的质量之比, 一般用 w 表示, 以百分数计。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

含水量 w 是反映土的湿度的一个重要物理指标。天然状态下土层的含水量称天然含水量, 其变化范围很大, 与土的种类、埋藏条件及其所处的自然地理环境等有关。一般干的粗砂土, 其值接近于零, 而饱和砂土, 可达 40%; 坚硬的黏性土的含水量约小于 30%, 而饱和状态的软黏性土 (如淤泥), 则可达 60%或更大。一般说来, 同一类土, 当其含水量增大时, 强度就降低。

土的含水量一般用“烘干法”测定。先称小块原状土样的湿土质量, 然后置于烘干箱内维持 100℃~105℃烘至恒重, 再称干土质量, 湿、干土质量之差与干土质量的比值, 就是土的含水量。

这三个物理性质指标可以从试验中直接得到, 所以又叫土工试验指标。在衡量土的一些工程性质的时候, 这三个指标有时并不能很直观地说明, 如土的密实程度与孔隙的大小有关, 而从这三个指标并不能直观地看出来, 因此我们就需要用其他的一些物理指标来说明。而这些其他的物理性质指标是可以由前面的三个物理性质指标推导出来的, 因此我们称这三个物理性质指标为基本物理性质指标。

2. 土的其他物理性质指标 (换算指标)

(1) 土的孔隙比 e : 土中孔隙体积与土粒体积之比, 孔隙比用小数表示。

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

天然状态下土的孔隙比称为天然孔隙比，它是一个重要的物理性指标，可以用来评价天然土层的密度程度。一般 $e < 0.6$ 的土是密实的低压缩性土， $e > 1.0$ 的土是疏松的高压缩性土。

(2) 孔隙率 n ：土中孔隙所占体积与总体积之比，空隙率用百分数表示。

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

一般黏性土的孔隙率为 30%~60%，无黏性土为 25%~45%。

(3) 土的饱和度 S_r ：土中被水充满的孔隙体积与孔隙总体积之比。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad (1-1-6)$$

饱和度可以反映土的干湿程度，砂土根据饱和度 S_r 的指标值分为稍湿、很湿与饱和三种湿度状态，其划分标准见下表：

砂土湿度状态	稍湿	很湿	饱和
饱和度 S_r (%)	$S_r \leq 50$	$50 < S_r \leq 80$	$S_r > 80$

(4) 土的干密度（干重度）：单位土体积内土颗粒的质量。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad \gamma_d = \rho_{dg} \frac{W_s}{V} \quad (1-1-7)$$

工程中常用土的干密度作为评定土体紧密程度的指标，以控制填土的工程质量。

(5) 土的饱和密度 ρ_{sat} （ γ_{sat} 干重度）：土体中孔隙被水充满时单位体积的质量。

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v r_w}{V} \quad (1-1-8)$$

(6) 水下土的密度（有效密度） ρ' （有效重度 γ' ）：处于水面以下的土，由于受到水的浮力作用，单位土体积内土颗粒的有效质量称为土的有效密度。

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} \quad \gamma' = \rho' g = \frac{m_s g + V_v \rho_w g - V \rho_w g}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (1-1-9)$$

土的四种密度（重度）之间比较，有 $\rho_{sat} \geq \rho \geq \rho_d \geq \rho'$ ， $\gamma_{sat} \geq \gamma \geq \gamma_d \geq \gamma'$ 。

以上就是土的其他六个物理性质指标，这些其他的物理性质指标由实验测定比较难，但是它们可以由前面的三个物理性质指标推导出来的，土的三相比例指标换算公式，如表 1-1-7 所示。

表 1-1-7 土的三相比例指标换算公式

指标名称	符合	表达式	单位	换算公式	附注
重度	γ	$\gamma = \frac{W}{V}$	KN/m ³	$\gamma = \frac{d_s + s_e}{1 + e}$ $\gamma = \frac{d_s (1 + w) \gamma_w}{1 + e}$	实验测定
土粒 相对密度	d_s	$d_s = \frac{W_s}{V_s} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$		$d_s = \frac{s_e}{w}$	实验测定
含水量	w	$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$		$w = \frac{s_e}{d_s} \times 100\% = \left(\frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 \right) \times 100\%$	实验测定

续表

指标名称	符合	表达式	单位	换算公式	附注
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$		$e = \frac{d_s \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1$	
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$		$n = \frac{e}{1+e} \times 100\%$	
饱和度	s_r	$s_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$		$s_r = \frac{w d_s}{e} = \frac{w \gamma_d}{n \gamma_w}$	
干重度	γ_d	$r_d = \frac{W_s}{V}$	kN/m^3	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$	
饱和重度	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}$	kN/m^3	$\gamma_{sat} = \frac{d_s + e}{1+e} \gamma_w$	
浮重度	γ'	$\gamma' = \frac{W_s - V_s \gamma_w}{V}$	kN/m^3	$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1+e}$	

(三) 土的物理状态指标

1. 黏性土的物理状态指标（塑性指数和液性指数）

(1) 黏性土的状态。随着含水量的改变，黏性土将经历不同的物理状态。当含水量很大时，土是一种黏滞流动的液体即泥浆，称为流动状态。随着含水量逐渐减少，黏滞流动的特点渐渐消失而显示出塑性（所谓塑性就是指可以塑成任何形状而不发生裂缝，并在外力解除以后能保持已有的形状而不恢复原状的性质），称为可塑状态；当含水量继续减少时，则发现土的可塑性逐渐消失，从可塑状态变为半固体状态。如果同时测定含水量减少过程中的体积变化，则可发现土的体积随着含水量的减少而减小，但当含水量很小的时候，土的体积却不再随含水量的减少而减小了，这种状态称为固体状态。

(2) 界限含水量。黏性土从一种状态变到另一种状态的含水量分界点称为界限含水量。流动状态与可塑状态间的分界含水量称为液限 w_L ；可塑状态与半固体状态间的分界含水量称为塑限 w_P ；半固体状态与固体状态间的分界含水量称为缩限 w_S ，如图 1-1-5 所示。

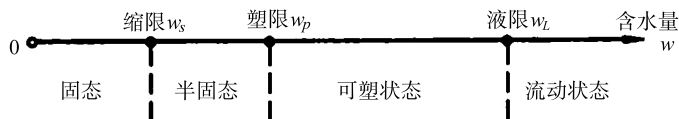


图 1-1-5 黏性土的物理状态与界限含水率之间的关系

(3) 塑性指数与液性指数。

① 塑性指数是黏性土区别于砂土的重要特征。可塑性的大小用土处在塑性状态的含水量变化范围来衡量，从液限到塑限含水量的变化范围愈大，土的可塑性愈好。这个范围称为塑性指数 I_P ：

$$I_P = w_L - w_P \quad (1-1-10)$$

塑性指数习惯上用不带%的数值表示。塑性指数是黏土的最基本、最重要的物理指标之一，它综合地反映了黏土的物质组成，广泛应用于土的分类和评价。

②液性指数 I_L 是表示天然含水量与界限含水量相对关系的指标，其表达式为：

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (1-1-11)$$

可塑状态的土的液性指数在 0 到 1 之间，液性指数越大，表示土越软；液性指数大于 1 的土处于流动状态；小于 0 的土则处于固体状态或半固体状态。

黏性土的状态可根据液性指数 I_L 分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑，如表 1-1-8 所示。

表 1-1-8 按液性指数值确定黏性土状态

I_L 值	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	$1.0 < I_L$
状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑

2. 无黏性土的物理状态指标（密实度）

无黏性土一般指砂土和碎石土，它们最主要的物理状态指标是密实度。土的密实度是指单位体积中固体颗粒的含量。根据土颗粒含量的多少，天然状态下的砂、碎石等处于从紧密到松散的不同物理状态。

（1）砂土的密实状态指标。砂土的密实度对其工程性质具有重要的影响。密实的砂土具有较高的强度和较低的压缩性，是良好的建筑物地基；但松散的砂土，尤其是饱和的松散砂土，不仅强度低，且水稳定性很差，容易产生流沙、液化等工程事故。对砂土评价的主要问题是正确地划分其密实度。

确定砂土密实度的方法有多种，工程中以孔隙比、相对密实度、标准贯入锤击数为标准来划分砂土的密实度。

①以孔隙比为标准：孔隙比可以作为砂土密实度的划分标准，孔隙比越小，表示土越密实；孔隙比越大，土越疏松，如表 1-1-9 所示。

表 1-1-9 砂土的密实度

土的名称 \ 密实度	密实	中密	稍密	松散
砾砂、粗砂、中砂	$e < 0.60$	$0.60 \leq e < 0.75$	$0.75 < e \leq 0.85$	$e > 0.85$
细砂、粉砂	$e < 0.70$	$0.70 \leq e \leq 0.85$	$0.85 < e \leq 0.95$	$e > 0.95$

用孔隙比 e 来判断砂土的密实度是最简便的方法，但它没考虑土的颗粒级配的影响，同样密实度的砂土在粒径均匀时孔隙比较大，而粒径级配良好时孔隙比较小。

②以相对密实度 d_r 为标准：砂土的密实程度并不完全取决于孔隙比，而在很大程度上还取决于土的级配情况。粒径级配不同的砂土即使具有相同的孔隙比，但由于颗粒大小不同，颗粒排列不同，所处的密实状态也会不同。为了同时考虑孔隙比和级配的影响，引入砂土相对

密实度的概念。

当砂土处于最密实状态时，其孔隙比称为最小孔隙比 e_{\min} ；而砂土处于最疏松状态时的孔隙比则称为最大孔隙比 e_{\max} 。有关试验标准中规定了一定的方法测定砂土的最小孔隙比和最大孔隙比，然后可按下式计算砂土的相对密实度：

$$d_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-1-12)$$

从上式可以看出，当砂土的天然孔隙比接近于最小孔隙比时，相对密实度 d_r 接近于 1，表明砂土接近于最密实的状态；而当天然孔隙比接近于最大孔隙比时则表明砂土处于最松散的状态，其相对密实度接近于 0。根据砂土的相对密实度可以按表 1-1-10 将砂土划分为密实、中密、和松散三种密实度。

表 1-1-10 砂土密实度划分标准

密实度	密实	中密	松散
相对密度	1.0 ~ 0.67	0.67 ~ 0.33	0.33 ~ 0

③ 用标准贯入锤击数 N 为标准：标准贯入试验是用规定的锤质量（63.5kg）和落距（76cm）把标准贯入器（带有刃口的对开管，外径 50mm，内径 35mm）打入土中，记录贯入一定深度（30cm）所需的锤击数 N 的原位测试方法。根据所测得的锤击数 N ，将砂土分为松散、稍密、中密及密实四种密实度，如表 1-1-11 所示。

表 1-1-11 砂土密实度划分标准

标准贯入实验锤击数 N	密实度	标准贯入实验锤击数 N	密实度
$N \leq 10$	松散	$15 < N \leq 30$	中密
$10 < N \leq 15$	稍密	$N > 30$	密实

2. 碎石土的密实度

对于平均粒径不大于 50mm 且最大粒径不大于 100mm 的碎石土，可采用重型圆锥动力触探来测定其密实度。重型圆锥动力触探是用质量 63.5kg 的落锤以 76cm 的落距把探头打入碎石土中，记录探头贯入一定深度（10cm）所需的锤击数 $N_{63.5}$ 。根据落锤的锤击数 $N_{63.5}$ ，将碎石土分为松散、稍密、中密及密实四种密实度，如表 1-1-12 所示。

表 1-1-12 碎石土的密实度划分

重型圆锥动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度	重型圆锥动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度
$N_{63.5} \leq 5$	松散	$10 < N_{63.5} \leq 20$	中密
$5 < N_{63.5} \leq 10$	稍密	$N_{63.5} > 20$	密实

对于平均粒径大于 50mm 或最大粒径大于 100mm 的碎石土，应按野外鉴别方法来综合判定其密实度，如表 1-1-13 所示。

表 1-1-13 碎石土密实度的野外鉴别方法

密实度	骨架颗粒含量及排列	可挖性		可钻性	
		充填物以砂土为主	充填物以黏土为主	充填物以砂土为主	充填物以黏土为主
密实	骨架颗粒含量大于总重的 70%，为交错排列，连续接触。	颗粒间孔隙填充密实或有胶结性，镐锹挖掘困难，用撬棍方能松动，井壁稳定	颗粒间充填以坚硬和硬塑状态之黏性土为主，开挖较困难	钻进极困难，冲击钻探时，钻杆和吊锤跳动剧烈，孔壁稳定	同左，但碎屑物较易取土
中密	骨架颗粒含量等于总重的 60%~70%，为交错排列，大部分接触	颗粒间孔隙被充填，用手可松动颗粒，镐锹可挖掘，井壁有掉块现象	颗粒间充填以可塑状黏性土为主，锹可开挖，但不易掉块	钻进较困难，冲击钻探时，钻杆和吊锤有跳动现象，孔壁有时坍塌	同左，但孔壁不易坍塌
稍密	骨架颗粒含量等于总重的 55%~60%，排列混乱，大部分不接触	颗粒间孔隙部分被充填，颗粒有时被充填物隔开，用手一触即松动掉落，锹可挖，井壁易坍塌	颗粒间充填以软塑或流塑之黏性土为主，锹可开挖，井壁有坍塌现象	钻进较易，钻杆和吊锤跳动不明显，孔隙易坍，有时有翻砂现象	同左，但孔壁较稳定
松散	骨架颗粒含量小于总重的 55%，排列十分混乱，绝大部分不接触	锹易挖掘，井壁极易坍塌		钻进很容易，冲击钻探时，钻杆无跳动，孔壁极易坍塌	

三 土的工程性质

(一) 土的可松性

土具有可松性。土的可松性是指在自然状态下的土经开挖后组织被破坏，其体积因松散而增大，以后虽经回填压实也不能恢复其原来体积的特性。由于土方工程量是以自然状态的体积来计算的，所以在土方调配、计算土方机械生产率及运输工具数量等的时候，必须考虑土的可松性。土的可松性程度用可松性系数表示。

(1) 最初可松性系数 K_s ：自然状态下的土，经开挖成松散状态后，其体积的增加，用最初可松性系数表示。

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-1-13)$$

式中， V_1 为土在自然状态下的体积； V_2 为土经开挖成松散状态下的体积。

(2) 最终可松性系数 K'_s ：自然状态下的土，经开挖成松散状态后，回填夯实后，仍不能