



高等职业教育建筑类专业“十三五”规划教材

# 地基基础工程施工

主编 江科文 周晓龙

 江苏教育出版社  凤凰职教

## 图书在版编目(CIP)数据

地基基础工程施工/江科文,周晓龙主编. —南京:江苏凤凰教育出版社,2015.8

ISBN 978-7-5499-5005-8

I. ①地… II. ①江…②周… III. ①基础施工—高等职业教育—教材 IV. ①TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 119310 号

- 高等职业教育建筑类专业“十三五”规划教材
- 
- 书 名** 地基基础工程施工
- 
- 主 编** 江科文 周晓龙  
**责任编辑** 汪立亮 张 晨  
**出版发行** 凤凰出版传媒股份有限公司  
江苏凤凰教育出版社  
**地 址** 南京市湖南路1号A楼,邮编:210009  
**出 品** 江苏凤凰职业教育图书有限公司  
**网 址** <http://www.ppve.cn>  
**经 销** 凤凰出版传媒股份有限公司  
**照 排** 江苏凤凰制版有限公司  
**印 刷** 江苏凤凰扬州鑫华印刷有限公司  
**厂 址** 扬州市江阳工业园蜀岗西路9号,邮编:225008  
**电 话** 0514-85868855  
**开 本** 787毫米×1092毫米 1/16  
**印 张** 11.75  
**字 数** 291千字  
**版 次** 2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷  
**标准书号** ISBN 978-7-5499-5005-8  
**定 价** 32.00元  
**批发电话** 025-83658830  
**盗版举报** 025-83658873

---

图书若有印装错误可向江苏凤凰职业教育图书有限公司调换  
提供盗版线索者给予重奖

# 高等职业教育建筑类专业“十三五”规划教材 建设委员会名单

**主任：**徐 彬(云南开放大学)

**副主任：**(按姓氏笔画排序)

马永军(重庆工商职业学院)

汪荣林(江西工程职业学院)

范家茂(合肥职业技术学院)

周晓龙(杭州科技职业技术学院)

姚志刚(安徽广播电视大学)

曹 明(上海开放大学)

**委 员：**(按姓氏笔画排序)

万连建(扬州江海职业学院)

王晓玲(厦门城市职业学院)

江科文(重庆工商职业学院)

李 伟(成都广播电视大学)

李 煜(云南国防职业技术学院)

闫志港(宿迁泽达职业技术学院)

吴延风(厦门城市职业学院)

陈小茵(南京城市职业学院)

黄星华(江苏城市职业学院)

蔡丽丽(郑州信息科技职业学院)

徐德慧(广东理工职业学院)

唐玉文(合肥职业技术学院)

崔 辉(合肥职业技术学院)

梅 钰(江苏建课建设监理有限公司)

**秘书长：**谢 波(云南开放大学)

汪立亮(凤凰出版传媒集团职教出版中心)

# 前言



本书是根据当前教育部教学改革的精神,建筑施工类建筑工程技术专业课程改革新的课程体系要求,以及《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2013)等现行的国家标准、行业标准,参考工程建设标准化协会标准和地方标准实施而编写的。

全书共分为五个学习项目,主要内容包括岩土认识、土方工程施工、地基处理、基坑工程施工、基础工程施工。

本教材有以下主要特点:

1. 符合高职、高专的教学特点,以理论“适度、够用”为原则编写教材。本书侧重施工工艺的适用性分析和施工工艺的流程介绍,尽量避免实用性差、理论深奥的知识讲述。

2. 内容全面。本书涵盖了建筑地基基础工程的全部施工过程,为学生全面了解建筑地基基础工程施工、开阔职业视野提供帮助。

3. 实用性强。本书阐述了地基基础工程施工中各种施工方法的特点、适用范围、施工工艺流程、施工要点、施工质量验收等基本内容,为学生合理选用施工方法、制定施工方案、实施施工管理奠定了基础。

4. 时效性强。本书结合当前建筑工程企业常用的施工方法进行编写,删减了落后淘汰的施工工艺,适当引入了新型施工工艺。

本书内容丰富,理论与实践兼顾,注重科学性、先进性与实用性的统一,可作为高职、高专建筑工程技术专业教学用书,也可供相关专业的工程管理人员和技术人员参考。

本书由重庆工商职业学院江科文、杭州科技职业技术学院周晓龙任主编,重庆工商职业学院邢霖、云南国防职业技术学院纳娜任副主编。全书最后由江科文统稿。

由于本书内容较新,且编写时间较为仓促,并且限于编者水平和经验,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2015.6



# 目录



<b>项目一 岩土认识</b> .....	1
任务一 概述.....	1
任务二 土的物理性质指标.....	5
任务三 土的工程分类 .....	12
任务四 岩土工程勘察 .....	15
<b>项目二 土方工程施工</b> .....	27
任务一 概述 .....	27
任务二 土方的开挖 .....	32
任务三 土方的填筑 .....	46
<b>项目三 地基处理</b> .....	54
任务一 换填垫层法 .....	55
任务二 预压法 .....	59
任务三 强夯法 .....	69
任务四 振冲法 .....	72
<b>项目四 基坑工程施工</b> .....	79
任务一 概述 .....	79
任务二 降水与排水工程 .....	85
任务三 基坑支护形式 .....	95
<b>项目五 基础工程施工</b> .....	136
任务一 基础工程概述.....	136
任务二 浅基础工程施工.....	144
任务三 桩基工程施工.....	153
<b>参考文献</b> .....	183

## 项目导入

土是由岩土通过物理、化学、生物风化作用,并经过侵蚀、搬运、沉积交错复杂作用,所生成的各类沉积物。土的固相主要是由大小不同、形状各异的多种矿物颗粒构成的,对有些土来讲除矿物质颗粒外,还含有有机物质。

土虽然是岩石风化之后的产物,但具有一种明显区别于岩石的性质——散粒性,正是由于土的这一特性,决定了土与其他工程材料相比还具有变形量大,强度低、渗透性大的特点。

土的物理性质在一定程度上影响着土的力学性质,是土的最基本的工程特性。

## 任务一 概述

### 学习目标

知识目标	技能目标	参考学时
1. 了解土的成因、组成与结构; 2. 掌握土中水的分类及其特点; 3. 熟悉土的结构组成	1. 能够正确识读土颗粒级配曲线; 2. 能够评价土的工程性质	4

### 任务描述

土的形成过程,会影响到土的三相指标,进而影响土的物理性质、状态等。所以,了解土的形成过程及其组成,是学习土的各物理性质指标,进行岩土勘察,以及识读勘察报告等工作的基础。

#### 一、土的形成

地壳表层原来坚硬连续的岩石,经历长期的风化作用以及剥蚀、搬运、沉积等作用,在各种交错复杂的自然环境中在地表形成的各种散粒堆积物称为“第四纪沉积物”或“土”。

在由岩土演变生成土的过程中,风化起到了重要的作用。风化作用与温度变化、雨、雪、山洪、河流、风、空气、生物等活动密切相关,一般分为物理风化和化学风化作用。由于温度变化、岩石膨胀开裂,崩解为碎块,属于物理风化作用,这种风化作用只改变颗粒的大小与形状,不改变其矿物成分;由于水溶液、大气等因素影响,使岩石的矿物成分不断溶解水化、氧化、碳酸盐化引起的岩石的破碎,属于化学风化,这种风化作用使岩石的矿物成分发生改变,土的颗粒变

细,产生次生矿物。

#### 温馨提示

(1) 原生矿物:物理风化的产物。常见的原生矿物有石英、长石等,其性质较稳定。其中碎石土和砂土主要由原生矿物组成。

(2) 次生矿物:化学风化的产物常见的次生矿物如黏土矿物、铁铝氧化物等。其中黏土矿物高岭石、蒙脱石和伊利石,是构成粘性土的主要成分。

## 二、土的组成

自然界中的土体结构组成十分复杂,为了方便分析问题,将土简化成固、液、气的三相体系:固相为土颗粒,液相为水,气相为孔隙中的气体。同一地点的土体,它的三相组成的比例不是固定不变的,随着环境的变化,土的三相比例也会发生相应的变化。例如,天气的晴雨、季节的变化、温度的高低以及地下水的升降等等,都会引起土的三相组成各部分之间的比例产生变化。

土颗粒主要由矿物颗粒组成,有时也含有有机质构成土的骨架;水和气体的充填在土颗粒间相互贯通的孔隙中。当土中孔隙为水和气体共同充填时,土为三相,称为湿土或非饱和土。特殊情况时,土为两相,称为饱和土或干土。土体三相比例不同,土的状态及其工程性质也随之各异。

固体+气体(液体=0)为干土,此时黏土呈坚硬状态。

固体+液体+气体为湿土,此时黏土多为可塑状态。

固体+液体(气体=0)为饱和土,此时松散的粉细砂或粉土遇强烈地震,可能产生液化,而使工程遭受破坏,黏土地基受建筑荷载作用发生沉降,有时需几十年才能稳定。

由此可见,掌握土的各项工程性质,首先需要从最基本的土的三相组成开始学习。

### (一) 土颗粒的大小与形状

土的固体颗粒即矿物颗粒,是土的三相组成中的主体,是决定土的工程性质的主要成分。自然界中土颗粒的大小相差悬殊,例如巨粒土漂石,粒径  $d > 200$  mm,细粒土黏粒  $d > 0.005$  mm,两者粒径相差超过 4 万倍。颗粒大小不同的土,它们的工程性质也各异,为便于研究,把土的粒径按性质相近的原则划分为 6 个粒组,见表 1-1。

表 1-1 常用土粒粒组划分

粒组统称	粒组名称	粒径 $d$ 范围(mm)	一般特征
巨粒	漂石或块石粒	$d > 200$	透水性很大,无粘性,无毛细水
	卵石或碎石粒	$200 \geq d > 60$	
粗粒	圆砾或角砾	粗 60	透水性大,无粘性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中 20	
		细	
	砂粒	粗	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无粘性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
		中	
		细	

续表

粒组统称	粒组名称	粒径 $d$ 范围(mm)	一般特征
细粒	粉粒	$0.075 \geq d > 0.005$	透水性小,湿时稍有粘性,遇水膨胀小,干时稍有收缩,毛细水上升高度大,易出现冻胀现象
	粘粒	$d \leq 0.005$	透水性很小,湿时有粘性,遇水膨胀大,干时收缩显著,毛细水上升高度很大,但速度缓慢

土粒的大小称为粒度,通常以粒径表示。土粒的粒径由粗到细变化时,土的性质也相应地发生变化。工程上常把大小、性质相近的土粒合并为一组,称为粒组。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。

每个粒组之内土的工程性质相似,定性而言,通常粗粒土的压缩性低,强度高、渗透性大。至于土颗粒的形状,有的土带棱角形状表面粗糙,不易滑动,因而其抗剪强度比表面圆滑的高。

自然界中的土绝大部分是由几种粒组混合而成,因此,为了说明天然土颗粒的组成情况,不仅要了解土颗粒的大小,还要了解各种颗粒所占的比例。土粒的大小及其组成情况,通常以土中各个粒组的相对含量(指土样各粒组的质量占土粒总质量的百分数)来表示,称为土的颗粒级配(或粒度成分)。这是决定无黏性土的重要指标,是粗粒土的分类定名的标准。

土的颗粒粒径及其级配是通过土的颗粒分析试验测定的。常用的方法有两种:筛分法是用一套不同直径的标准筛把各种粒组分离出来,适用于粒径为  $0.075 \sim 60$  mm 的土。沉降分析法包括密度计法(也称比重计法)和移液管法(也称吸管法),是利用不同大小的土粒在水中的沉降速度不同来确定小于某粒径的土粒的含量,适用于粒径小于  $0.075$  mm 的土。

根据颗粒分析试验结果可以绘制颗粒级配曲线,判断土的级配状况,如图 1-1 所示。图中的横坐标为粒径,由于土粒粒径的值域很宽,因此用对数坐标表示。纵坐标为小于(或大于)某粒径的土粒累计质量百分比(或累计百分含量)。

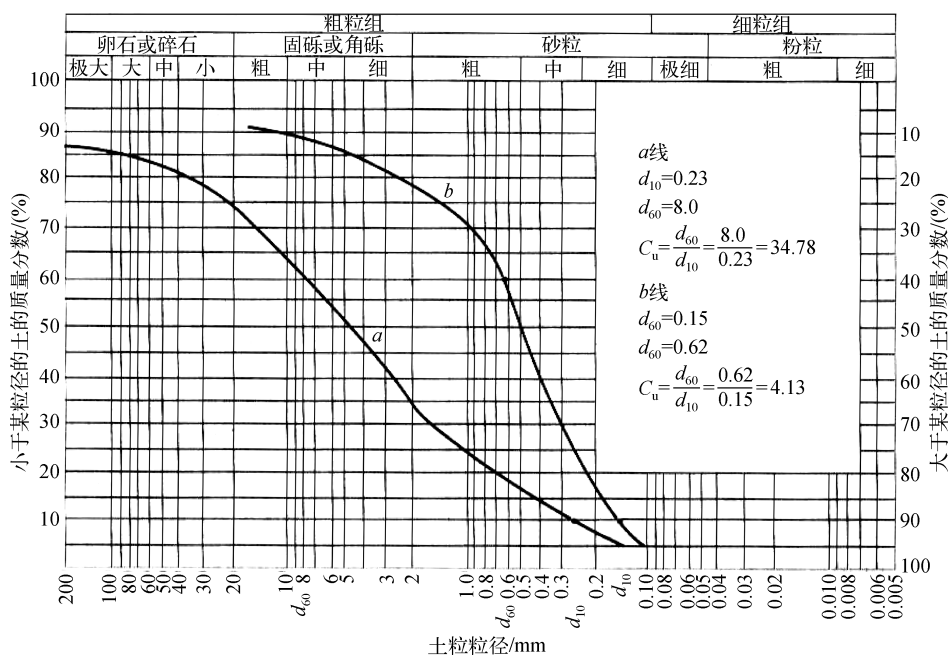


图 1-1 土的颗粒级配累积曲线



图 1-1 中曲线  $a$  平缓,表示土样所含土粒的粒径范围广,粒径大小相差较大,土粒不均匀,较大颗粒间的孔隙被较小的颗粒所填充,土的密实度较好,即颗粒级配良好;反之,曲线  $b$  较陡,则表示土样所含土粒的粒径范围窄,粒径的大小相差不大,土粒较均匀,颗粒级配不良。为反映土颗粒的组成特征,定量说明问题,工程中常用不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$  反映土颗粒级配的不均匀程度。

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

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}}$$

式中,  $d_{60}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{10}$ ——分别相当于小于某粒径土重累积百分含量为 60%、30% 及 10% 对应的粒径,分别称为限制粒径、中值粒径和有效粒径。

不均匀系数  $C_u$  反映了大小不同粒组的分布情况,即土粒大小(粒度)的均匀程度。 $C_u$  越大表示粒度的分别范围越广,土粒越不均匀,级配愈良好。

曲率系数  $C_c$  描述了级配曲线分布的整体形态,表示是否有缺失的情况。

当砾类土或砂类土同时满足  $C_u \geq 5$  和  $C_c = 1 \sim 3$  两个条件时,为良好级配砾或良好级配砂;如不能同时满足,则为级配不良。

级配良好的土,其强度和稳定性较好,透水性和压缩性较小,比较容易获得较大的密实度,是填方工程的良好用料。

#### 加油站

土颗粒级配曲线和指标的应用:

- 粒组含量用于土的分类定名;
- 不均匀系数  $C_u$  用于判定土的不均匀程度:  $C_u \geq 5$  为不均匀土;  $C_u < 5$  为均匀土;
- 曲率系数  $C_c$  用于判定土的连续程度:  $C_c = 1 \sim 3$  为级配连续土;  $C_c > 3$  或  $C_c < 1$

为级配不连续土;

- 不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$  用于判定土的级配优劣:  $C_u \geq 5$  且  $C_c = 1 \sim 3$  为级配良好的土;如果  $C_u < 5$ 、 $C_c > 3$  或  $C_c < 1$  为级配不良的土。

## (二) 土中水

自然状态下土中都含有水,土中水的存在状态及其与土颗粒之间的相互作用对土的性质影响很大,而且土颗粒越细影响越大。

按存在状态,土中的水可划分为固态水、气态水和液态水。固态水是指土中的冰。水结成冰后体积增大,使土体产生冻胀,破坏土的结构;冰融化后土体强度又急剧降低,对地基不利。气态水是指土中以水蒸气形式存在的水,其对土的性质影响不大。一般情况下所说的水是指土体中的液态水,其分为结合水和自由水两大类。

### 1. 结合水

结合水是指受电分子引力吸附于土粒表面呈薄膜状的土中水。包括:

(1) 强结合水:是指紧靠土粒表面的结合水,又称吸着水。这种强结合水的性质与普通水不同,它的性质接近固体,不传递静水压力,100℃时不蒸发,有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。黏性土只含有强结合水时,呈固体状态。

(2) 弱结合水:是指紧靠于强结合水外围的结合水膜,也称为薄膜水。由于引力降低,弱结合水的水分子排列不紧密,水膜较厚的弱结合水能向邻近薄水膜缓慢转移。弱结合水也不能传递静水压力,呈黏滞体状态,此部分水对黏性土的影响最大。

## 2. 自由水

自由水是存在于土粒电场影响范围以外不受电场引力作用的土中水,其受重力作用。包括:

(1) 重力水:是在土孔隙中受重力作用能自由流动的水一般存在于地下水位以下的透水层中,能在重力或压力差作用下流动,对土粒有浮力作用。

(2) 毛细水:是受水与空气表面的张力作用而存在于细小孔隙中的自由水,通常存在于地下水位以上的透水层中。土粒间的孔隙贯通,形成无数不规则的毛细管,土中的自由水在水与空气交界面处的表面张力作用下,通过毛细管逐渐上升,形成毛细水。毛细管越细,毛细水上升的高度越高,因此,粉粒土中的毛细水上升高度比砂类土高。在工程建设中,毛细水对地基土的湿陷、冻胀和地下构筑物的防潮措施有重大的影响。

## (三) 土中气体

土中气体存在于未被土中水占据的孔隙中。在组成土的三相中,土中气体对土的影响相对地居次要地位。土中气体以两种形式存在即流通气体和封闭气体。

(1) 流通气体:是指与大气连通的气体,常见于粗粒土中,当外力作用于土体时能被挤出孔隙,因此它对土的性质影响不大。

(2) 封闭气体:是指与大气隔绝的以气泡形式存在的气体,常见于黏性细粒土中,不易逸出。当土受压时被压缩,卸荷时又能有所恢复,因此增大了土的弹性和压缩性,延长了土体变形稳定时间,同时降低了土的透水性。例如,淤泥和泥炭等有机质土,由于微生物的分解作用,在土中蓄积了甲烷等可燃气体,使土在自重作用下长期得不到压密,从而形成高压缩性土层。

## 任务二 土的物理性质指标

### 学习目标

知识目标	技能目标	参考学时
1. 掌握土的物理性质指标的定义、概念、计算公式和单位; 2. 能进行土的工程分类	能熟练地进行物理指标的换算	4

### 任务描述

所谓土的物理状态,对于无粘性土,即指其密度程度;对于粘性土则是指土的软硬程度,或粘性土的稠度。定量描述土的物理状态即要用到土的物理性质指标。土的物理性质指标也叫土的三相比指标,是表示土的三相组成各部分的质量和体积之间的比例关系的指标。

土的物理性质在一定程度上影响着土的力学性质,是土的最基本的工程特性。本任务就

是要学习、熟悉土的 9 个基本物理性质指标。

土的性质不仅取决于三相组成本身的性质,而且也取决于三相之间数量的比例关系。

土力学中,描述土的三相物质在体积和质量上的比例关系的有关指标,称为土的物理性质指标(三相比例指标),它反映着土的干和湿、松和密、软和硬等物理状态,是评价土的工程性质的最基本的物理指标,也是工程地质报告中不可缺少的基本内容。物理性质指标可分为两种,一种是基本指标,另一种是导出指标。



图 1-2 土的三相图

$V$ —土的总体积; $V_v$ —土的孔隙体积; $V_s$ —土颗粒的体积; $V_w$ —水的体积;  
 $V_a$ —气体的体积; $m$ —土的总质量; $m_w$ —水的质量; $m_s$ —土颗粒质量; $m_a$ —气体的质量

## 一、土的基本物理性质

### (一) 基本指标

基本指标是指可通过试验测定的指标,也称为基本物理性质指标。包括:土的密度  $\rho$  及重度  $\gamma$ 、土粒的相对密度  $d_s$  和土的含水率  $\omega$ 。

为了确定土的三个基本指标,通常进行三个基本的物理性质试验:

- 土的密度试验;
- 土粒比重试验;
- 土的含水量试验。

#### 1. 土的密度 $\rho$ 和重度 $\gamma$

(1) 土的密度:指土单位体积的质量,综合反映了土的物质组成和结构特征。也称为土的天然密度,记为  $\rho$ 。

公式:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_v} \quad \text{t/m}^3 \text{ 或 } \text{g/cm}^3$$

(2) 土的重度:土的重力密度,即单位体积土所受的重力,记为  $\gamma$ 。

公式:

$$\gamma = \rho g \approx 10\rho, \text{ kN/m}^3, \text{ 工程上常近似取重力加速度 } g = 10 \text{ m/s}^2.$$

(3) 测定方法:

① 环刀法,适用于黏性土和粉土。用容积为  $100 \text{ cm}^3$  或  $200 \text{ cm}^3$  的环刀切土样,用天平称其质量而得。

② 灌水法,适用于卵石、砾石与原状砂。现场挖试坑,将挖出的试样装入容器,称其质量,再用塑料薄膜袋平铺于试坑内,注水入薄膜袋,直至袋内水面与坑口齐平,注入的水量即为试坑的体积。

## 2. 土粒相对密度 $d_s$

(1) 定义:土中固体颗粒的质量与同体积  $4^\circ\text{C}$  时纯水的质量之比;或为土粒密度与  $4^\circ\text{C}$  时纯水的密度之比,记为  $d_s$ 。

(2) 公式:

$$d_s = \text{固体颗粒密度/纯水 } 4^\circ\text{C} \text{ 时的密度} = \frac{m_s}{m_{w1}} = \frac{m_s/V_s}{m_{w1}/V_s} = \frac{\rho_s}{\rho_{w1}}$$

(3) 常见值:

砂土  $d_s = 2.65 \sim 2.69$

粉土  $d_s = 2.70 \sim 2.71$

黏性土  $d_s = 2.72 \sim 2.75$

土的相对密度  $d_s$  的数值大小取决于土的矿物成分。

(4) 测定方法:由比重瓶法测定。

## 3. 土的含水率 $\omega$

(1) 定义:指水的质量和土颗粒质量的比值,以百分数表示,记为  $\omega$ 。

(2) 公式:

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

含水率是表示土体湿度(含水程度)的物理指标,含水量越大,土越湿,对施工越不利。与土的种类、埋藏条件及其附近的自然环境等有关,由烘干法测定。

## (二) 导出指标

在土的三项比例指标中,土的密度、含水量、土粒比重三项基本指标是通过试验测定,其他指标可由这三个指标换算得到。

### 1. 土的干密度 $\rho_d$ 和土的干重度 $\gamma_d$

土中无水时,单位体积内土颗粒的质量,称为土的干密度或干土密度,即

$$\rho_d = \text{固体颗粒质量/土的总体积} = \frac{m_s}{V}$$

在工程上常把干密度作为评定土体紧密程度的标准,控制填土工程的施工质量,比如,在土方填筑时,常以土的(干密度)来控制土的夯实标准。其值  $\rho_d$  常在  $1.3 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$  之间。干密度反映了土的孔隙比,因而可用以计算土的孔隙率,它往往通过土的密度及含水率计算得来,但也可以实测。

$$\gamma_d = \rho_d g = 9.8 \rho_d$$

$\gamma_d$  常在  $13 \sim 20 \text{ kN/m}^3$  之间。

土的干密度  $\rho_d$  或干重度  $\gamma_d$  越大,表明土体压得越密实,亦即工程质量越好。根据工程的

重要程度和当地土的性质,设计规定一个合理的  $\rho_d$  或  $\gamma_d$  数值。例如,灰土地基压实的质量标准,要求灰土的最小于密度:粉土灰土  $\rho_d = 1.55 \text{ g/m}$ ,粉质黏土灰土  $\rho_d = 1.50 \text{ g/m}$ ,黏土灰土  $\rho_d = 1.45 \text{ g/m}$ 。

## 2. 土的饱和密度 $\rho_{sat}$ 和饱和重度 $\gamma_{sat}$

土体孔隙被水完全充满时,单位土体积饱和土的质量,称为土的饱和密度,即

$$\rho_{sat} = \text{孔隙全部充满水的总质量} / \text{土体总体积} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$$

常见值:  $\rho_{sat} = (1.8 \sim 2.3) \text{ g/cm}^3$

土的饱和重度为孔隙中全部充满水时,单位土体体积所受的重力,即

$$\gamma_{sat} = \rho_{sat} g$$

## 3. 浮密度(有效密度) $\rho'$ 和浮重度 $\gamma'$

在地下水位以下,土单位体积中土粒的质量与同体积水的质量之差,即

$$\rho' = \frac{m_s - V_v \rho_w}{V}$$

常见值:  $\rho' = (0.8 \sim 1.3) \text{ g/cm}^3$

对于地下水位以下的土体,由于受到水的浮力作用,将扣除水浮力后单位体积土所受的重力称为土的有效重度,或称浮重度。当认为水下土是饱和状态时,有效重度  $\gamma'$  在数值上等于饱和重度  $\gamma_{sat}$  与水的重度  $\gamma_w$  ( $\gamma_w = \rho_w \cdot g$ ) 之差,即

$$\gamma' = \frac{m_s \cdot g - V_s \cdot \gamma_w}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

### 小技巧

土的密度  $\rho$ 、含水量  $\omega$ 、相对密度  $d_s$  是通过试验测定,其他指标 ( $\rho_d$ 、 $\rho_{sat}$ 、 $\rho'$ 、 $e$ 、 $n$ 、 $S_r$ ) 可由这三个指标换算得到。

步骤:

- (1) 首先绘出三相图,如图 1-3 所示;
- (2) 明确所求指标的表达式或定义;
- (3) 作假设以减少未知量,求解。各项指标之间的换算公式见表 1-2。

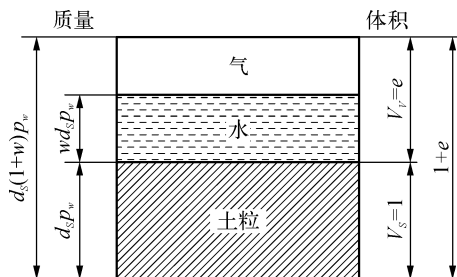


图 1-3 土的三相图



表 1-2 土的三相比例指标的换算公式

指 标	常用换算公式	指 标	常用换算公式
饱和重度	$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w \cdot (d_s + e)}{1 + e}$	含水率	$\omega = \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1$
干重度	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega} = \frac{\gamma_w \cdot d_s}{1 + e}$	干密度	$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \omega} = \frac{d_s \cdot \rho_w}{1 + e}$
重 度	$\gamma = \gamma_d (1 + \omega)$	有效重度	$\gamma' = \frac{\gamma_w (d_s - 1)}{1 + e} = \gamma_{sat} - \gamma_w$
孔隙比	$e = \frac{\gamma_w d_s (1 + \omega)}{\gamma} - 1 = \frac{\gamma_w d_s}{\gamma_d} - 1$		

注：在换算公式时，含水量  $\omega$  应用小数带入计算。

**【例题 1-1】** 用环刀切取一土样，测得该土样体积为  $60 \text{ cm}^3$ ，质量为  $114 \text{ g}$ 。土样烘干后测得其质量为  $100 \text{ g}$ 。若土粒比重  $d_s = 2.7$ ，试求土的密度、含水量和孔隙比。

**【解】** 由表 1-2 可得，

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{114}{60} = 1.9 (\text{g/cm}^3)$$

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{114 - 100}{100} \times 100\% = 14\%$$

$$e = \frac{\gamma_w d_s (1 + \omega)}{\gamma} - 1 = \frac{\rho_w d_s (1 + \omega)}{\rho} - 1 = \frac{1 \times 2.7 \times (1 + 0.14)}{1.9} - 1 = 0.62$$

## 二、无黏性土的密实度

密实度是指土的固体颗粒排列的紧密程度。

无黏性土一般是具有单粒结构的卵石、碎石、砂等，一般黏粒含量少，不具有可塑性，呈单粒结构，它们的物理状态主要取决于土的密实程度，即密实度。天然状态下的无黏性土具有不同的密实度，密实度不同，无黏性土表现出来的工程性质也不同。

因此，工程上常用密实度评价无黏性土的地基承载力。评价无黏性土密实状态的指标有：

### 1. 孔隙比 $e$

孔隙比是指材料中孔隙体积与材料中颗粒体积之比，是反应材料密实程度的重要物理性质指标。一般用  $e$  代表， $e$  越大材料越疏松，反之，越密实。孔隙比用小数表示，可以评价天然土层的密实程度。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。

我国在 1974 年曾规定以孔隙比  $e$  作为砂土密实度的划分标准。但是仅用一个指标，无法反映土的粒径级配的因素，不能真实的反映砂土的密实状态。见表 1-3。

表 1-3 按天然孔隙比  $e$  划分砂土的密实度(74 规范)

	密实	中密	稍密	松散
砾砂 粗砂 中砂	$e < 0.6$	$0.6 < e < 0.75$	$0.75 < e < 0.85$	$e > 0.85$
细砂 粉砂	$e < 0.7$	$0.7 < e < 0.85$	$0.85 < e < 0.95$	$e > 0.95$

- 优点:简单方便。
- 缺点:无法反映土的粒径级配与颗粒形状因素。

### 2. 相对密实度 $D_r$

相对密实度克服了孔隙比对级配不同的砂土难以准确判断的缺陷,用天然孔隙比  $e$  与同一种砂的最松散状态孔隙比  $e_{\max}$  和最密实状态孔隙比  $e_{\min}$  进行对比,看  $e$  靠近  $e_{\max}$  还是靠近  $e_{\min}$ ,以此来判断它的密实度。相对密实度计算公式如下:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

当砂土的天然孔隙比接近于最大孔隙比时,其相对密实度  $D_r$  接近于 0,则表明砂土处于最松散的状态;而当砂土的天然孔隙比接近于最小孔隙比时,其相对密实度  $D_r$  则接近于 1,表明砂土处于最紧密的状态。根据相对密实度  $D_r$  可将砂土分为松散、中密和密实三种状态,见表 1-4。

表 1-4 根据相对密实度  $D_r$  划分砂土的密实度

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

理论上用相对密实度  $D_r$  划分砂土的密实度是比较合理的,但要准确测定砂土的最大孔隙比和最小孔隙比是比较困难的,试验结果常有误差。因此,在工程实际中通常多用于填方工程的质量控制。

### 3. 标准贯入试验

虽然相对密度从理论上能反映颗粒级配、颗粒形状等因素,但是要准确测量天然孔隙比、最大与最小孔隙比往往十分困难。在实际工程中,常利用标准贯入试验、静力触探、动力触探等原位测试方法来评价砂土的密实度。

标准贯入试验,是在现场进行的一种原位测试,以锤击数  $N$  为标准进行评定。标准贯入试验适用于砂土、粉土和一般黏土,它利用一定的锤击动能(锤重 63.5 kg,落距 76 cm),将一定规格的对开管式的贯入器打入钻孔孔底的土中,先按打入 15 cm,再打入 30 cm,记录所需的锤击数  $N$ 。 $N$  值的大小,反映土的贯入阻力的大小,亦即密实度的大小,其判断标准见表 1-5。根据打入土中的贯阻抗,判别土层的工程性质。

贯入阻抗用贯入器贯入土中 30 cm 的锤击数  $N_{63.5}$  表示, $N_{63.5}$  也称为标贯击数。

我国现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)采用原位标准贯入试验锤击数  $N$  ( $N_{63.5}$ )来评价砂类土的密实度。见表 1-5。

表 1-5 根据原位标准贯入试验锤击数  $N$  评判土的密实度

锤击数 $N_{63.5}$	$N_{63.5} \leq 10$	$10 < N_{63.5} \leq 15$	$15 < N_{63.5} \leq 30$	$N_{63.5} > 30$
密实度	松散	稍密	中密	密实

### 三、黏性土的稠度

黏性土的颗粒很细,黏粒粒径  $d < 0.005 \text{ mm}$ ,细土粒周围形成电场,电分子力吸引水分子定向排列,形成结合水膜。土粒与土中水相互作用很显著,关系极密切。例如,同一种黏性土,当它的含水率小时,土呈固态或半固态;当含水率适当增加,土粒间距离加大,土呈现可塑状态;如含水率再增加,土中出现较多的自由水时,黏性土变成流动状态。

黏性土的稠度,反映土粒之间的黏结强度随着含水率高低而变化的性质,其中,各不同状态之间的界限含水率具有重要的意义。

#### (一) 黏性土的界限含水量

黏性土的颗粒很细,黏粒粒径  $d < 0.005 \text{ mm}$ ,细土粒周围形成电场,电分子力吸引水分子定向排列,形成结合水膜。土粒与土中水相互作用很显著,关系极密切。例如,同一种黏性土,当它的含水率小时,土呈固态或半固态;当含水率适当增加,土粒间距离加大,土呈现可塑状态;如含水率再增加,土中出现较多的自由水时,黏性土变成流动状态,如图 1-4 所示。

黏性土由一种状态转入另一种状态时的分界含水量称为界限含水量。土由半固态转为固态的界限含水量称为缩限  $\omega_s$ 。土由可塑状态转为半固态的界限含水量称为塑限  $\omega_p$ 。土由流动状态转为可塑状态的界限含水量称为液限  $\omega_L$ 。

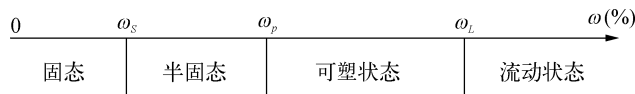


图 1-4 土的物理状态与含水量的关系

黏性土随着含水率不断增加,土的状态变化为固态—半固态—可塑状态—流动状态,相应的承载力也逐渐降低。由此可见,黏性土最主要的物理特征并非密实度,而是土的软硬程度,即稠度。

黏性土的稠度,反映土粒之间的黏结强度随着含水率高低而变化的性质,其中,各不同状态之间的界限含水率具有重要的意义。

#### 1. 液限 $\omega_L$ (%)

黏性土呈流动状态与可塑状态之间的界限含水率称为液限  $\omega_L$ 。

测定方法:锥式液限仪法、碟式液限仪法

#### 2. 塑限 $\omega_p$ (%)

黏性土可塑状态与半固态之间的界限含水率称为塑限。

测定方法:搓条法,用双手将天然湿度的土样搓成小圆球(球径小于  $10 \text{ mm}$ ),放在毛玻璃板上再用手掌慢慢滚搓成小土条,用力均匀,搓到土条直径为  $3 \text{ mm}$ ,出现裂纹,自然断开,这时土条的含水量就是塑限  $\omega_p$  值。

#### 3. 缩限 $\omega_s$ (%)

黏性土呈半固态与固态之间的分界含水率称为缩限  $\omega_s$ 。这是因为土样含水率减小至缩限后,土体体积不再发生收缩而得名。

测定方法:收缩皿法(略)。

## (二) 塑性指数 $I_p$ 与液性指数 $I_L$

### 1. 塑性指数 $I_p$

液限与塑限的差值,即黏性土处在可塑状态时含水量的变化范围,称为塑性指数,(去掉%),即

$$I_p = \omega_L - \omega_p$$

应注意  $\omega_L$  与  $\omega_p$  都是界限含水率,以百分数表示,而  $I_p$  只取其数值,去掉百分数符号。如  $\omega_L = 28\%$ 、 $\omega_p = 16\%$ ,则  $I_p = 12$ 。

液限与塑限的差值越大,即塑性指数愈高,土中土粒越细、黏粒含量越高、结合水含量越高,与水作用和进行交换的机会也就越多。

塑性指数  $I_p$  可作为黏性土与粉土定名的标准,塑性指数  $I_p > 10$  的土为黏性土,其中:

$10 < I_p < 17$  为粉质黏土

$I_p > 17$  为黏土

### 2. 液性指数 $I_L$

土的天然含水量与塑限的差值和液限与塑限差值之比,称为液性指数,即

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} = \frac{\omega - \omega_p}{I_p}$$

从上式看出,当天然含水量  $\omega$  小于  $\omega_p$  时,  $I_L$  小于 0,土体处于坚硬的固体状态,当天然含水量大于  $\omega_p$  时,土体处于流动状态;当天然含水量  $\omega$  在  $\omega_p$  与  $\omega_L$  之间时,  $I_L$  在 0~1 之间,土体处于可塑状态。因此,液性指数是判别黏性土的软硬程度的指标,可以反映出黏性土所处的天然状态。

工程上根据  $I_L$  值将黏性土划分为下列五种软硬状态,见表 1-6。

表 1-6 根据  $I_L$  值划分黏性土软硬状态

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	$I_L > 1.0$

## 任务三 土的工程分类

### 学习目标

知识目标	技能目标	参考学时
1. 了解地基土工程分类的依据与准确定名; 2. 掌握分析评价图的物理特性; 3. 掌握土的工程分类及性质	能按规范进行土的工程分类	2

### 任务描述

从前面任务中,关于土的物理性质的阐述中,已知土的颗粒大小不同,例如砂土和黏性土,

它们的工程性质很不相同。自然界的土,往往是各种不同大小粒组的混合物。在建筑工程的勘察、设计与施工中,需要对组成地基土的混合物进行分析、计算与评价。

实际工作中,我们需要具备通过现场踏勘,并借助一定的技术资料,了解该房屋建筑的工程特点及场地特征的能力。

自然界中土的种类很多,工程性质各不相同。为了进一步研究其工程性质,需要按其主要特征对土进行工程分类。地基岩土的分类方法很多,作为建筑物地基的岩土,主要根据它们的工程性质和力学性能分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土六类。

## 一、岩石

### 1. 定义

颗粒间牢固联结、呈整体或具有节理裂隙的岩体称为岩石,如作为建筑物地基,除应确定岩石的地质名称(如花岗岩、砂岩等)外,尚应划分其坚硬程度和完整程度。

### 2. 分类

岩石的坚硬程度由岩块的饱和单轴抗压强度标准值  $f_{rk}$  描述,按其值将岩石分为坚硬岩、较硬岩、软岩、极软岩(表 1-7)。

表 1-7 岩石坚固程度的划分

坚固程度类别	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度标准值 $f_{rk}/\text{MPa}$	$>60$	$60\sim30$	$30\sim15$	$15\sim5$	$\leq 5$

注:饱和单轴抗压强度标准值按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)附录确定。

表 1-8 岩石完整程度的划分

完整程度等级	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性指数	$>0.75$	$0.75\sim0.55$	$0.55\sim0.35$	$0.35\sim0.15$	$<0.15$

注:完整性指数为岩体纵波波速与岩块纵波波速之比的平方。选定岩体、岩块测定波速时应具有代表性。

## 二、碎石土

粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土,称为碎石土。碎石土没有黏性和塑性,属于单粒结构。根据粒组含量和颗粒形状划分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾、角砾。碎石土的分类见表 1-9。

表 1-9 碎石土的分类

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石 块石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径 $>200$ mm 的颗粒 超过全重的 50%
卵石 碎石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径 $>20$ mm 的颗粒 超过全重的 50%
圆砾 角砾	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径 $>2$ mm 的颗粒 超过全重的 50%

注:分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。



碎石土的工程性质与其密实度紧密相关,根据密实度的不同,碎石土可分为以下四种。

#### 1. 密实碎石土

骨架颗粒含量大于总重的 70%,呈交错排列,连续接触。锹镐挖掘困难,井壁一般较稳定。钻进极困难,冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动剧烈。这种土为优等地基。

#### 2. 中密碎石土

骨架颗粒含量等于总重的 60%~70%,呈交错排列,大部分接触。镐可挖掘,井壁有掉块现象,从井壁取出大颗粒处,能保持颗粒凹面形状。钻进较困难,冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动不剧烈。这种土为优良地基。

#### 3. 稍密碎石土

骨架颗粒含量等于总重的 55%~60%,排列混乱,大部分不接触。锹可以挖掘,井壁易坍塌,从井壁取出大颗粒后砂土立即坍塌。钻进较容易,冲击钻探时,钻杆稍有跳动。这种土为良好地基。

#### 4. 松散碎石土

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。铁锹易挖掘,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。这种土不宜直接用做地基,经密实处理后,可成为良好地基。

常见的碎石土,强度高,压缩性小,渗透性大,为优良的地基。

### 三、砂土

粒径大于 2 mm 的颗粒含量不超过全重的 50%,及粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量超过全重的 50%的土为砂土。根据粒组含量分为砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂。砂土的工程分类见表 1-10。

表 1-10 砂土的分类

土的名称	颗粒级配
砾砂	粒径>2 mm 的颗粒占全重的 25%~50%
粗砂	粒径>0.5 mm 的颗粒超过全重的 50%
中砂	粒径>0.25 mm 的颗粒超过全重的 50%
细砂	粒径>0.75 mm 的颗粒超过全重的 85%
粉砂	粒径>0.75 mm

注:分类时应根据粒组含量栏从上到下以最先符合者确定。

### 四、粉土

粉土是介于砂土与黏性土之间,具有砂土和黏性土的某些特征,塑性指数  $I_p < 10$  及粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量不超过全重 50%的土,称为粉土。密实的粉土为良好地基。饱和稍密的粉土,地震时易产生液化,为不良地基。

### 五、黏性土

塑性指数,  $I_p > 10$  的土称为黏性土。黏性土分布面积广,为最常见的一种土。塑性指数  $10 < I_p \leq 17$  为粉质黏土;  $I_p > 17$  为黏土。根据液性指数,黏性土可分为坚硬、硬塑、可塑、软塑

和流塑状态。

黏性土的工程性质与其含水率的大小密切相关。硬塑状态的黏性土为优良地基；流塑状态的黏性土为软弱地基。

## 六、人工填土

人工填土是指出于人类活动而堆填的土。按人工填土的组成物质和堆积年代进行分类定名。包括素填土、压实填土、杂填土、冲填土。

### 1. 素填土

素填土的物质成分比较单一，多是山丘、高地挖方后在低洼处回填，由碎石土、砂土、粉土、黏性土等组成。回填时未作压实加密处理的土质疏松且不均匀，在水浸湿的情况下易发生湿陷性沉降。经人工分层压实的填土称为压实填土。

### 2. 压实填土

经分层压实或夯实的素填土，统称为压实填土。

### 3. 杂填土

杂填土多是覆盖在城市区域地表的人工杂物，包括砖石瓦块等建筑垃圾、工业废料和生活垃圾等，通常大中小城市地表都有一层杂填土。这类土质物理成分复杂、均匀性差、堆积时间不同，故用作地基时应慎重对待。

### 4. 冲填土

冲填土的物质成分比较复杂，是水力冲填泥砂形成的填土，属欠固结的软弱土，若为中砂以上的粗颗粒形成，则不属于软土。例如，天津市一些地区为疏濬海河时连泥带水，抽排至低洼地区沉积而成冲填土。

人工填土按堆积年代，分以下两种：

- (1) 老填土，凡黏性土填筑时间超过 10 年、粉土超过 5 年的，称为老填土。
- (2) 新填土，若黏性土填筑时间小于 10 年、粉土填筑时间少于 5 年的，称为新填土。

## 任务四 岩土工程勘察

### 学习目标

知识目标	技能目标	参考学时
1. 岩土工程勘察等级的划分； 2. 岩土工程勘察阶段的划分及要求； 3. 了解工程地质勘察报告的目的和要求、主要内容和工作、土层分布和土层描述的内容	1. 能看懂工程地质勘察报告的附图、附表等； 2. 明确场地评价和地基基础设计与施工的建议	4

### 任务描述

岩土工程勘察是指根据建设工程的要求，查明、分析、评价场地的地质、环境特征和岩土工

程条件,编制勘察文件的活动。

岩土工程勘察总的原则是为工程建设服务,因此具有明确的针对性和目的性。我们可以通过现场参观和地质勘察报告的阅读,对工程现场的地基土情况有一个全面了解,并初步学会工程地质勘察报告的使用。

工程地质勘察主要是查明建筑场地及其附近的工程地质和水文地质条件,为建筑场地选择、建筑平面布置、地基与基础的设计和施工提供必要的资料。

场地是指建筑工程所处范围和直接使用的土地,而地基则是指场地范围内直接承托建筑物基础的岩土体。由于涉及的范围不同,勘察工作的侧重点也不一样,一般又分为场地勘察和地基勘察。场地勘察应广泛研究整个工程建设和使用期间场地内是否发生岩土体失稳、自然地质及工程地质灾害等问题;而地基勘察则为研究地基岩土体在各种静、动荷载作用下所引起的变形和稳定性提供可靠的工程地质和水文地质资料。

工程地质勘察的内容、方法及工程目的确定取决于:工程的技术要求和规模、建筑场地地质条件的复杂程度和岩土性质的优劣。通常勘察工作都是由浅入深、由表及里,随着工程的进行逐步深化。在工业与民用建筑工程中,设计分为可行性研究、初步设计和施工图设计三个阶段。相对应地,为了提供设计各阶段所需的工程地质资料,工程地质勘察工作可分为可行性研究勘察(或称选择场地勘察)、初步勘察和详细勘察三个阶段,以满足相应的工程建设阶段对地质资料的要求。对于地质条件复杂、有特殊要求的重大建筑物地基,还应进行施工勘察;反之,对地质条件简单、面积不大的场地,其勘察阶段可以适当简化。

## 一、岩土工程勘察的目的

岩土工程勘察的目的是查明场地与地基的稳定性、地层的类别、厚度和坡度、持力层和下卧层的工程特性、应力历史和地下水;提供满足设计、施工所需的岩土技术参数;确定地基承载力,预测地基沉降及其均匀性;最终提出地基和基础设计方案建议。

因为岩土工程勘察工作不到位而导致的问题很多,比如,南京东南大学太平北路6层教工住宅,完成钢筋混凝土筏板基础后,发生整块板基断裂。诸如此类建筑工程事故的发生,都是由于未经详细勘察,盲目进行设计、施工造成的。

岩土工程勘察的最终目的是使工程设计结合实际来进行。优良的设计方案,必须以准确的工程岩土勘察资料为依据。设计工程师对地基土层的分布、土的松密、压缩性高低、强度大小,尤其是均匀性(是否存在局部软硬异常的情况),以及地下水的埋深与水质,土的性质(是否会产生不良地质条件)等进行全面和深入地研究,才能做好设计,防止地基事故的发生,确保工程质量,这是必须做到的基本要求。

## 二、岩土工程勘察等级

各项工程建设的岩土工程勘察任务量不同,工作内容、工作量及勘察方法也不一样,钻孔的数量、孔深、取原状土试验项目与原位测试种类的多少等不同,为此,首先要确定岩土工程勘察等级[岩土工程勘察规范(GB 50021—2009)]。

岩土工程勘察等级应根据建筑工程重要性等级、建筑场地等级、建筑地基等级综合分析确定。

### (一) 建筑工程重要性等级

建筑工程重要性等级,应根据工程破坏后果的严重性,按表1-11划分为三个等级。

表 1-11 建筑工程重要性等级

工程重要性等级	破坏后果	工程类型
一级	很严重	重要工程
二级	严重	一般工程
三级	不严重	次要工程

## (二) 建筑场地等级

建造场地等级应根据场地的复杂程度分为三级。

### 1. 一级场地(复杂场地)

符合下列条件之一者为一级场地:① 对建筑抗震危险的地段;② 不良地质现象强烈发育;③ 地质环境已经或可能受到强烈破坏;④ 地形地貌复杂;⑤ 有影响工程的多层地下水、岩溶裂隙或其他水文地质条件复杂、需专门研究的场地。

### 2. 二级场地(中等复杂场地)

符合下列条件之一者为二级场地:① 对建筑抗震不利的地段;② 不良地质作用一般发育;③ 场地环境已经或可能受到一般破坏;④ 地形地貌较复杂;⑤ 基础位于地下水位以下的场地。

### 3. 三级场地(简单场地)

符合下列条件者为三级场地:① 地震设防烈度等于或小于 6 度,或对建筑抗震有利的地段;② 不良地质作用不发育;③ 地质环境基本未受破坏;④ 地形地貌简单;⑤ 地下水对工程无影响。

注:场地与地基等级的确定,从一级开始,向二级、三级推定,以最先满足的为准。

## (三) 建筑地基等级

建筑地基等级应根据地基的复杂程度分为三级。

### 1. 一级地基(复杂地基)

符合下列条件之一者,为一级地基:① 岩土种类多,很不均匀,性质变化大,需特殊处理;② 严重湿陷、膨胀、盐渍、污染的特殊性岩土,以及其他情况复杂,需作专门处理的岩土。

### 2. 二级地基(中等复杂地基)

符合下列条件之一者为二级地基:① 岩土种类较多,不均匀,性质变化较大;② 除一级地基规定以外的特殊性岩土。

### 3. 三级地基(简单地基)

符合下列条件者为三级地基:① 岩土种类单一,均匀,性质变化不大;② 无特殊性岩土。

## (四) 岩土工程勘察等级

根据工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级,可按下列条件区分岩土工程勘察等级。

(1) 甲级,在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级中,有一项或多项为一级。

(2) 乙级,除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目。

(3) 丙级,工程重要性、场地复杂程度等级和地基复杂程度均为三级。

注:建筑在岩质地基上的一级工程,当场地复杂程度等级和地基复杂程度等级为三级时,岩土工程勘察等级可定为乙级。

### 三、各阶段勘察的内容与要求

重大的工程建设岩土工程勘察宜分阶段进行,各勘察阶段应与设计阶段相适应。

#### (一) 可行性研究勘察

可行性研究勘察也称为选址勘察。根据工程建设项目规划阶段应对几个建筑场址作比较的要求,进行可行性研究勘察。

##### 1. 勘察目的

对拟选场址的稳定性和适宜性作出工程地质评价。

##### 2. 主要任务

(1) 搜集区域地质、地形地貌、地震、矿产和附近地区的工程地质岩土工程资料及当地的建筑经验。

(2) 在分析已有资料的基础上,通过现场勘察,了解场地的地层分布、构造、成因与年代和岩土性质、不良地质作用及地下水的水位、水质情况。

(3) 对各方面条件较好且倾向于选取的场地,如已有资料不充分,应进行必要的工程地质测绘及勘探工作。

(4) 当有两个或两个以上拟选场地时,应进行比选分析。

根据我国的建设经验,下列地区、地段不宜选为场址:

(1) 不良地质现象发育且对场地稳定性有直接危害或潜在威胁的地区,如泥石流河谷、崩塌、滑坡、土洞、塌陷、岸边冲刷、地下潜蚀等地。

(2) 地基土性质严重不良的场地,如Ⅲ级自重湿陷性场地、胀缩性强烈的Ⅰ级膨胀土地基、软硬突变的场地。

(3) 对建筑物抗震危险的地段,即地震时可能发生滑坡、崩塌、地裂、泥石流等地段,及地震断裂带上可能发生地表错位的部位。

(4) 洪水或地下水对建筑场地有严重不良影响的地段,如位于洪水淹没区。

(5) 地下有尚未开采的有价值矿藏或未稳定的地下采空区。

#### (二) 初步勘察

在场址选定批准后进行初步勘察(简称初勘),勘察内容应符合初步设计的要求。

##### 1. 勘察目的

(1) 对场地内各建筑地段的稳定性作出岩土工程评价。

(2) 为确定建筑物总体平面布置提供依据。

(3) 为确定主要建筑物的地基基础方案提供资料。

(4) 对不良地质现象的防治,提供资料和建议。

##### 2. 主要任务

(1) 搜集与分析可行性研究阶段岩土工程勘察报告。

(2) 通过现场勘探与测试,初步查明地层分布、构造、岩土物理力学性质、地下水埋藏条件及冻结深度,可以粗略些,但不能有错误,例如,不能把淤泥质土或膨胀土判断为一般黏性土。

(3) 通过工程地质测绘和调查,查明场地不良地质现象的成因、分布、对场地稳定性的影响及其发展趋势。

(4) 对抗震设防烈度大于或等于6度的场地,应判定场地和地基的地震效应。

(5) 初步制定水和土对建筑材料的腐蚀性。



(6) 对高层建筑可能采取的地基基础类型、基坑开挖和支护、工程降水方案进行初步分析评价。

### (三) 详细勘察

根据技术设计或施工图设计阶段的要求进行详细勘察。

#### 1. 勘察目的

- (1) 按不同建筑物或建筑群,提出详细的岩土工程资料和设计所需的岩土技术参数;
- (2) 对建筑地基做出岩土工程分析评价,例如,建筑地基良好,可以采用天然地基;若地基软弱,需要加固处理。
- (3) 对基础设计方案做出论证和建议。例如,建筑地基良好,可以建议浅基础;上部荷载大,地基浅层土不良,深层土坚实,可建议采用桩基础。
- (4) 对地基处理、基坑支护、工程降水等方案做出论证和建议。例如,对深厚淤泥质地基作为海港码头,可以建议采用真空预压法进行地基处理。
- (5) 对不良地质现象的防治做出论证和建议。例如,在山前冲积平原建筑场地,遇洪水冲沟,可建议在冲沟上游筑丁坝,将洪水引开。

#### 2. 主要任务

- (1) 搜集附有坐标及地形的建筑物总平面布置图,各建筑物的地面整平标高,建筑物的性质、规模、结构特点,可能采取的基础形式、尺寸、预计埋置深度,对地基基础设计的特殊要求等。
- (2) 查明不良地质作用的成因、类型、分布范围、发展趋势及危害程度,并提出评价与整治所需的岩土技术参数和整治方案建议。
- (3) 查明建筑物范围各层岩土的类别、结构、厚度、坡度、工程特性,计算和评价地基的稳定性、均匀性和承载力。这是每一项岩土工程勘察都必做的重点任务。例如,某单位宿舍 19 号楼至 22 号楼 4 幢 7 层楼的岩土工程勘察中,查明地基持力层土层分 4 层:表层为耕植土与杂填土,松散不均匀,厚度小于 1.50 m,地基稳定性差、承载力低,不宜作为地基持力层,应挖除;第二层黏性土层,松软,层厚 0.5~1.0 m,稳定性差,承载力低,亦应挖除;第三层卵石层夹细砂层,密实,厚度超过 4 m,为理想的建筑地基持力层,承载力特征值  $f_{ak} = -250$  kPa(注:此工程于十多年前完成,据此承载力设计条形基础底宽  $b = 1$  m,当时考虑  $f_{ak}$  提高,基础宽也不可能再减小。实际卵石层夹细砂薄层, $f_{ak}$  可采用 500 kPa);第四层黏性土层,中密—密实,厚度 3.0 m 左右,非弱下卧层。设计采用了上述评价与结论,目前该宿舍楼已竣工使用十多年,情况良好。
- (4) 对需要进行沉降计算的建筑物,要取原状土进行团结试验,并提供地基变形计算的参数  $e-p$  曲线,预测建筑物的沉降、差异沉降或整体倾斜。
- (5) 对抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地,应划分场地土类型和场地类别;划分对抗震有利或危险的地段,应分析预测地震效应,判定饱和砂土与粉土的地震液化,并应计算液化指数,判定液化等级。
- (6) 查明地下水的埋藏条件和侵蚀性。必要时还应查明地层的渗透性、水位变化幅度规律。例如,高层建筑深基坑,在地下水位以下开挖时就需要这些资料。
- (7) 查明埋藏的河道、沟渠、墓穴、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物。
- (8) 在季节性冻土地区,提供场地土的标准冻结深度。
- (9) 对深基坑开挖,应提供稳定计算和支护设计所需要的岩土技术参数  $\gamma$ 、 $c$ 、 $\Phi$  值,论证和

评价基坑开挖、降水等对邻近工程的影响。

(10) 若可能采用桩基,则需提供桩基设计所需的岩土技术参数,并确定单桩承载力;提出桩的类型、长度和施工方法等建议。

(11) 判定地基土及地下水在建筑物施工和使用期间可能产生的变化及其对工程的影响,提出防治措施及建议。

#### (四) 施工图勘察

施工图勘察又称技术勘察。遇下列几种情况,都应配合设计、施工单位进行施工勘察,解决施工的工程地质问题,并提供相应的勘察资料。

(1) 对高层或多层建筑,均需进行施工验槽。发现异常问题需进行施工勘察,例如,北京某大学教学楼、宿舍、食堂等建筑在施工基坑开挖验槽时,发现一条军用电线横穿楼房,同时发现局部基槽积水泡软地基。

(2) 在基坑开挖后遇局部古井、水沟、坟墓等软弱部位,要求换土处理时,需进行换土压实后干密度测试质量检验。

(3) 对深基础的设计与施工需进行有关监视工作。例如,沉井施工开挖沉井底端刃脚<sup>①</sup>下土体后仍不下沉,则需检验沉井侧壁与土之间的摩擦系数;若沉井施工发生突然下沉或倾斜,则需勘察地基土层的均匀性,并监测沉井均匀下沉以及下沉至设计标高后,检验井底土质。

(4) 当软弱地基处理时,需进行施工设计和检验工作。例如,采用强夯加固地基,需进行夯前与夯后地基土的物理力学性质指标对比,证明加固的效果。

(5) 若地基中存在岩溶或土洞,需进一步查明分布范围及处理。

(6) 施工中出现基槽边坡失稳滑动,则需进行勘测与处理。例如,北京某饭店在高层建箱形基础施工期间,基坑边坡发生滑动,则需对滑坡体进行勘察,实测其密度与强度指标,分析产生的原因并进行加固处理。

上述各勘察阶段的勘察目的与主要任务都不相同。若为单项工程或中小型工程,则往往简化勘察阶段,一次完成详细勘察,以节省时间与费用。

## 四、岩土工程勘察方法

岩土工程勘察方法很多,现将工业与民用建筑工程中常用的三类方法分述如下:

### (一) 钻探

用各种钻探工具钻入地基中分层取土进行鉴别、描述和测试的方法称为钻探法,这是世界各国广泛使用的传统方法。按钻探工具分为机钻、手钻和原状取土器钻探。钻探是广泛应用于工程地质勘察的一种“直接”勘探手段,能较好地了解地下地质情况。一般不受地形、地质条件的限制,几乎可以在任何环境下进行。

### (二) 触探

触探法是间接的勘察方法,不取土样,不描述,只将一个特别探头装在钻杆底端,打入或压入地基土中,由探头所受阻力的大小探测土层的工程性质,称为触探法。因触探法不需取原状土做试验,对难以取原状土的水下砂土、软土等,更显示其优越性。根据探头的结构和入土方法不同,可分为以下三大类:

<sup>①</sup> 刃脚,是沉井构造中井壁下端的斜形尖利部分,用以切土下沉。刃脚受力复杂集中,要有足够的强度和刚度,同时应以型钢(角钢或槽钢)加强,以免下沉时损坏。刃脚混凝土强度等级不低于 C20。

### 1. 圆锥动力触探

用标准质量的铁锤提升至标准高度自由下落,将特制的圆锥探头贯入地基土层标准深度,所需的击数  $N$  值的大小来判定土的工程性质的好坏。 $N$  值越大,表明贯入阻力越大,即土质越密实。

### 2. 标准贯入试验

标准贯入试验原理与圆锥动力触探相同,将质量为 140 磅(即 63.5 kg)的穿心锤用钻机的卷扬机提升,至 30 英寸(76 cm)高度,穿心锤自由下落,将特制的圆管状贯入器打入土中,先打入土 15 cm 不计数,接着每打入 10 cm 记下锤击数,累计打入 1 英尺(30 cm)的锤击数,即为标准贯入击数  $N$ 。当锤击数已达 50 击,而贯入深未达 30 cm 时,可记录实际贯入深度并终止试验。

勘察报告提供的  $N$  值是基本值。在实际应用  $N$  值时,应按具体岩土工程问题,参照有关规范考虑是否作杆长修正或其他修正,以及用何种方法修正。实际工程应用中,常用  $N$  值判定砂土的密实度,以及用  $N$  值判别地下水位以下砂土与粉土是否产生震动液化。

标准贯入试验的工程应用如下:

- (1) 用  $N$  值判定砂土的密实度。
- (2) 用  $N$  值判别地下水位以下砂土与粉土是否产生震动液化。

### 3. 静力触探

静力触探是借助机械把一定规格的圆锥形探头匀速压入土中,通过测定探头所受地层阻力来确定土体的物理力学参数,划分土层的一种土体勘测技术。

静力触探具有连续、快速、灵敏、精确、方便等优点,它利用液压或机械传动装置将圆锥形金属探头压入地基土中。探头中贴有电阻应变片,当探头受阻力时,电阻应变片相应伸长改变电阻,可用电阻应变仪量测微应变的数值,计算贯入阻力的大小,判定地基土的工程性质。

静力触探类型一般按落锤重量分类,即分为轻型、中型和重型 3 种,还可按量测探头结构分为单桥探头、双桥探头和孔压静探探头 3 种。

### (三) 挖探

在建筑场地上用人工开挖探井、探槽或平洞,直接观察、了解槽壁土层情况与性质,称为挖探。

主要成果有:

(1) 文字描述记录包括探井、探槽的位置、高程、长度、宽度、深度;地层土质分布、密度、含水率、稠度;颗粒成分与级配、含有物及土层特征、异常情况、地下水位等。

(2) 剖面图和展示图用适当比例尺绘制有代表性剖面图或整个探井探槽的展示图,把全部岩性、地层分界、构造特征、取样与原位试验位置一一表示在图上,一目了然,供分析应用。

(3) 彩色照片取代表性部位拍摄彩色照片,更具真实感。对需要表示尺度的部位,可用钢尺或钢笔等作比例尺。

适用条件如下:

(1) 钻探法难以进行勘察的土层。例如,地基中含有大块漂石、块石,钻探法难以进行,勘察时可采用掘探法。

(2) 钻探法难以准确查明的土层。若遇土层很不均匀、颗粒大小相差悬殊、分布不规则时,少数小孔径钻探很难代表全面情况,可采用探槽。例如,北京香山饭店位于香山山麓,建筑场地存在坡积层,采用探槽,效果良好。

(3) 黄土地基勘察。

(4) 事故处理检验质量。

当建筑物发生墙体开裂等事故时,为检验基础尺寸、埋深、材料、施工质量及地基持力层土质等情况,可以挖探槽。例如,清华大学环境工程实验室墙体开裂后,紧靠基础外侧开挖一个探槽,槽底深于基础埋深。经在探槽内检查发现:原设计基础材料为浆砌块石,实际施工偷工减料,有不少是片石、碎石顶替块石;原设计基础底板厚度为 300 mm,实际只有 280 mm;尤其浆砌块石的砂浆强度很低,用手可以抓下砂浆,为零号砂浆。上述情况用钻探法是无能为力的。

## 五、地基土的野外鉴别与描述

### (一) 土的野外鉴别

土的野外鉴别一般使用钻探法。在钻进过程中,必须随时做好钻孔记录。从钻机定位后由地表开钻,到终孔为止,记录每一钻的深度,鉴别与描述每一钻取出的土样,进行定名,并立刻写在记录表中,作为绘制地质剖面图的原始依据。

野外记录应由经过专业训练的人员承担,记录应真实及时,按钻进回次逐段填写,严禁事后追记。野外鉴别地基土要求快速,无仪器设备,主要凭感觉和经验。

#### 1. 碎石土与砂土的野外鉴别方法

对碎石土和砂土的鉴别方法利用日常熟悉的食品如绿豆、小米、砂糖、玉米面的颗粒作为标准,进行对比鉴别,详见表 1-12。

表 1-12 碎石土与砂土的野外鉴别方法

土类土名		观察颗粒粗细	干土状态	湿土状态	湿润时甩手拍击
碎石土	卵石 (碎石)	一半以上(指重量,下同),颗粒接近或超过干枣大小(约 20 mm)	完全分散	无黏着感	表面无变化
	圆砾 (角砾)	一半以上颗粒接近或超过绿豆大小(约 2 mm)	完全分散	无黏着感	表面无变化
砂土	砾砂	四分之一以上颗粒接近或超过绿豆大小	完全分散	无黏着感	表面无变化
	粗砂	一半以上颗粒接近或超过小米粒大小	完全分散	无黏着感	表面无变化
	中砂	一半以上颗粒接近或超过砂糖	基本分散	无黏着感	表面偶有水印
	细砂	颗粒粗细类似粗玉米面	基本分散	偶有轻微黏着感	接近饱和时,表面有水印
	粉砂	颗粒粗细类似细白糖	颗粒部分分散,部分轻微胶结	偶有轻微黏着感	接近饱和时,表面翻浆

#### 2. 黏性土与粉土的野外鉴别

对黏性土与粉土的鉴别方法,根据手搓滑腻感或砂粒感等感觉加以上区分和鉴别,详见表 1-13。

表 1-13 黏性土与粉土的野外鉴别

土名	鉴别方法	干土状态	手搓对感觉	湿土状态	湿土手搓情况	小刀切削湿土
黏土		坚硬,用锤才能打碎	极细的均质土块	可塑,滑腻,黏着性大	易搓成 $d < 0.5$ mm 长条,易滚成小土球	切面光不见砂粒
粉质黏土		手压土块可碎散	无均质感,有沙粒感	可塑,略滑腻,有黏性	能搓成 $d = 1$ mm 土条,能滚成小土球	切面平整有砂粒
粉土		手压土块散成粉末	土质不均,可见砂粒	稍可塑,不滑腻,黏性弱	难搓成 $d < 2$ mm 细条,滚成土球易裂	切面粗糙

### (二) 土的野外描述

钻探法的钻孔记录表中,除了记录钻孔的孔口高程、鉴定各土层的名称和埋藏深度以及初见水位和稳定水位以外,还需要对每一土层进行详细描述,作为评价各土层工程性质好坏的重要依据。描述的内容如下。

#### 1. 颜色

土的颜色取决于组成该土的矿物成分和含有的其他成分,描述时从色在前,主色在后。例如,黄褐色,以褐色为主色,带黄色;若土中含氧化铁,则土呈红色或棕色;土中含大量有机质,则呈黑色,表明此土层不良;土中含较多的碳酸钙、高岭土,则呈白色。

#### 2. 密度

土层的松密是鉴定土质优劣的重要方面。在野外描述时可根据钻进的速度和难易来判别土的密实程度。同时可在钻头提起后,在钻侧面窗口部位用刀切出一个新鲜面来观察,并用大拇指加压的感觉来判定松密。在钻孔记录表上注明每一层土属于密实、中密或稍密状态。碎石土密实度野外鉴别按表 1-14 来判别。

表 1-14 碎石土密实度野外鉴别方法

密实度	骨架颗粒含量和排列	可挖性	可钻性
密实	骨架颗粒含量大于总质量的 70%,呈交错排列,连续接触	锹镐挖掘困难,用撬棍方能松动;井壁一般较稳定	钻进极困难;冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动剧烈;孔壁较稳定
中密	骨架颗粒含量等于总重的 60%~70%,呈交错排列,大部分接触	锹镐可挖掘;壁有掉块现象,从井壁取出大颗粒处,保持凹面形状	钻进较困难;冲击钻探时,钻杆、吊锤跳动不剧烈;孔壁有坍塌现象
稍密	骨架颗粒含量小于总重的 60%,排列混乱,大部分不接触	锹可以挖掘;井壁易坍塌,从井壁取出大颗粒后,砂土立即脱落	钻进较容易,冲击钻探时,钻杆稍有跳动;孔壁易坍塌

#### 3. 湿度

土的湿度分为干的、稍湿的、湿的与饱和的四种。通常如地下水位埋藏深,在旱季地表土



层往往是干的；接近地下水位的黏性土或粉土因毛细水上升，往往是湿的；在地下水位以下，一般饱和的。具体鉴别按表 1-15 进行。

表 1-15 土的湿度的野外鉴别

土的湿度	鉴别方法
稍湿的	经过扰动的土，不易捏成团，易碎成粉末；放在手中不湿手，但感觉冷而且觉得是湿土
湿的	经过扰动的土，能捏成各种形状；放在手中会湿手，在土面上滴水能慢慢渗入土中
饱和的	滴水不能渗入土中，可看到孔隙中的水发亮

#### 4. 黏性土的稠度

黏性土的稠度是决定该土工程性质好坏的一个重要指标，分为坚硬、硬塑、可塑、软塑、流塑 5 种。描述方法可根据表 1-16 来进行。

表 1-16 黏性土稠度的野外鉴别

土的稠度	鉴别特征
坚硬	手钻很费力，难以钻进，钻头取出土样用手捏不动，加力土不变形，只能碎裂
硬塑	手钻较费力，钻头取出土样用手捏时，要用较大的力土才略有变形，并即碎散
可塑	钻头取出的土样，手指用力不大就能按入土中；土可捏成各种形状
软塑	钻头取出的土样还能成形，手指按入土中毫不费力；可把土捏成各种形状
流塑	钻进很容易，钻头不易取出土样，取出的土已不能成形，放在手中不易成块

#### 5. 含有物

土中含有非本层土成分的其他物质称为含有物，例如，碎砖、炉渣、石灰渣、植物根、有机质、贝壳、氧化铁等。有些地区有粉质黏土或粉土中含坚硬的礞石，海滨或古池塘往往含贝壳。记录中应注明含有物的大小和数量。

#### 6. 其他

碎石土与砂土应描述级配、砾石含量、最大粒径、主要矿物成分。黏性土应描述断面形态、孔隙大小、粗糙程度、是否有层理等。土中若有特殊气味，如海滨有鱼腥味等，亦应加以注明。

邻近设施对土质的影响，如管道漏水则使黏性土稠度变软、地下水位抬高。

## 六、岩土工程勘察成果报告

在野外勘察工作和室内土样试验完成后，将上程地质勘察纲要、勘探孔平面布置图、钻孔记录表、原位测试记录表、土的物理力学试验成果、勘察任务委托书、建筑平面布置图及地形图等有关资料汇总，并进行整理、检查、分析、鉴定，经确定无误后编制成工程地质勘察成果报告。提供建设单位、设计单位和施工单位使用，是存档长期保存的技术文件。

岩土工程勘察的最终成果是岩土工程勘察报告，勘察报告反映了勘察的目的、内容和方法等具体内容，并针对建筑场地和上部建筑特征，提出选择地基基础方案的依据和设计计算参数，指出存在的问题以及解决问题的可能方法或途径。工程勘察报告的表达形式各地不统一，但其内容一般包括工程概况、场地描述、勘探点平面布置图、工程地质剖面图、土层分布、土的



物理力学性质指标及工程地质评价等内容。

在实际工程中,应该认真阅读和分析勘察报告。使其在设计和施工中充分发挥作用,阅读时应先熟悉勘察报告的主要内容,了解勘察结论和计算指标的可靠程度,进而判断报告中的建议对该项工程的适用性,做到正确使用勘察报告。需要把场地的工程地质条件与拟建建筑物具体情况和要求联系起来进行综合分析。

岩土工程勘察成果报告通常包括文字部分和图表部分。

### (一) 文字部分

(1) 拟建工程概述,建筑场地描述(如场地位置、地形地貌、地质构造、不良地质现象的描述与评价)及地层基本烈度;

(2) 勘察目的、任务、要求和勘察工作概况;

(3) 建筑场地的地层分布、结构、岩土的颜色、密度、湿度、均匀性、层厚;地下水的埋藏深度、水质侵蚀性及当地冻结深度;各土层的物理力学性质、地基承载力和其他设计计算指标;

(4) 建筑场地稳定性与适宜性的评价,建筑场地及地基的综合工程地质评价;

(5) 结论与建议,根据拟建工程的特点,结合场地的岩土性质,提出的地基与基础方案设计建议。推荐持力层的最佳方案、建议采用何种地基加固处理方案。对工程施工和使用期间可能发生的岩土工程问题,提出预测、监控和预防措施的建议。

### (二) 图表部分

一般工程勘察报告中所附图表有下列几种:

(1) 勘探点平面布置图。

(2) 工程地质剖面图。

(3) 地质柱状图或综合地质柱状图。

(4) 室内土工试验成果表。

(5) 原位测试成果图表(如现场载荷试验、标准贯入试验等)。

(6) 其他必要的专门土建和计算分析图表。

上述内容并不是每一份勘察报告都必须全部具备的,应视具体要求和实际情况有所侧重,以能充分说明问题的原则为准。

## 项目小结

- 介绍了土颗粒的级配;
- 介绍了土的三相组成及物理指标之间的关系;
- 介绍了土的物理状态;
- 介绍了土的工程分类;
- 介绍了土的勘察方法及内容。

## 项目测评

1. 土是由哪几部分组成?土中次生矿物是怎样生成的?粘土矿物分哪几种?
2. 什么是土的粒径级配?粒径级配曲线的纵坐标表示什么?如何从级配曲线的陡缓判断土的工程性质?

3. 土中水包括哪几种？结合水、毛细水有何特性？
4. 什么是土的结构？什么是土的构造？不同的结构对土的性质有何影响？
5. 土的物理性质指标有哪几个？其中哪些可以直接测定？常用测定方法是什么？
6. 黏性土最主要的物理特征是什么？粘性土有哪些物理状态指标？塑限、液限分别如何测定？
7. 什么是土的塑性指数？其大小与土粒组成有什么关系？
8. 比较几种无粘性土，孔隙比越小者一定越密实吗？
9. 粘性土在压实过程中，含水量与干密度存在什么关系？