

建设行业技能型紧缺人才培养培训教材

# 地基与基础

张 强 李转学 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

主要内容

## 建设行业技能型紧缺人才培养培训教材

# 地基与基础

张 强 李转学 主编

图书在版编目(CIP)数据

地基与基础 / 张强, 李转学主编. —北京: 高等教育出版社, 2009.1  
ISBN 978-7-04-025260-2

I. ①地… II. ①张… ②李… III. ①地基—技术—教材 IV. TU94

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第02398号

责任编辑	封面设计	文字编辑	责任校对	责任印制	版式设计	文字编辑	责任校对	责任印制	版式设计
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

出版发行	高等教育出版社	地址	北京市西城区德胜大街4号	邮政编码	100120	总发行	010-2881000	经销	新华书店	印刷	北京印刷厂	开本	787×1092 1/16	印张	18.25	字数	470 000		
责任编辑	张强	封面设计	张强	文字编辑	张强	责任校对	张强	责任印制	张强	版式设计	张强	文字编辑	张强	责任校对	张强	责任印制	张强	版式设计	张强

本书可作为高等院校土建类专业及相关专业的教材,也可供从事地基与基础工程的技术人员参考。

版权所有·侵权必究

### 高等教育出版社

地址: 北京市西城区德胜大街4号 邮编: 100120

## 内容提要

本书为建设行业技能型紧缺人才培养培训教材。

本书共有 5 个模块,主要内容包括土的性质、基础构造与识图、基础设计、地基处理、基础施工。

本书打破学科体系,以岗位所需职业技能为主线,理论与实践结合,按照项目进行编写,教学内容采用了大量的工程图片和工程案例。本书所附配套光盘资源库内容包括演示文稿、现场图片、动画、实物模型、3D 模型、图样、实际工程施工资料及录像等素材。

本书采用出版物短信防伪系统,用封底下方的防伪码,按照本书最后一页“郑重声明”下方的使用说明进行操作,可查询图书真伪并有机会赢得大奖。登录 <http://sv.hep.com.cn>,可获得图书相关信息及资源。

本书可作为高等职业院校建筑、市政工程技术 and 中等职业学校建筑施工、市政施工等专业教材,也可作为相关行业的岗位培训教材和工程技术人员参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

地基与基础 / 张强,李转学主编. —北京:高等教育出版社,2009.7

ISBN 978 - 7 - 04 - 025960 - 5

I. 地… II. ①张…②李… III. ①地基 - 技术培训 - 教材②基础(工程) - 技术培训 - 教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 075368 号

策划编辑 梁建超      责任编辑 张玉海      封面设计 张申申      责任绘图 尹莉  
版式设计 王艳红      责任校对 俞声佳      责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 中青印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16  
印 张 18.25  
字 数 440 000

购书热线 010 - 58581118  
咨询电话 400 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landrace.com>  
<http://www.landrace.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 7 月第 1 版  
印 次 2009 年 7 月第 1 次印刷  
定 价 32.40 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25960 - 00

高等教育出版社

# 前 言

地基与基础是土建类专业一门非常重要的专业课程。学习该课程的任务是保证各类建筑物安全可靠,使用正常,不发生各种地基基础工程质量事故,具有很强的理论性和实践性。该课程还具有很强的综合性,涉及工程地质、土力学、建筑力学、建筑识图、建筑结构、建筑材料、施工技术等众多学科领域。

在信息技术迅速发展的今天,现代教育技术不仅带来了教学手段的改革,为教学内容的优化重组提供了可能与保证,也使教育思想和教学理念发生了深刻的变化。编者在参与国家“十一五”规划课题《信息技术环境下多元学与教方式有效融入日常教学的研究》的子课题《信息技术与“地基与基础”课程有效整合的研究》研究的基础上,编写了这本创新型的地基与基础教材。本书依照技能型人才培养的要求,以岗位所需职业能力构建教材体系,按照项目进行编写,并通过大量的图片和案例讲解增强学生对土和基础的感性认识;书后所附配套光盘内容包括地基与基础课程的教学课件、PKPM 课件、工程资料、施工视频、工程图片等资源,素材丰富,将基础工程直观地展现给学生。同时,学生还可以随时借助计算机网络、课件解决学习中遇到的问题。

本书打破学科框架,以实用为准、够用为度,不强求理论体系的完整性;注重知识和技能的结合,重视基本理论,强调知识内在的联系,加大实验和实训内容的比例,通过对工程案例的引入、分析来讲解理论。

建议本书的教学总学时数(包括理论教学和实践教学)为 75 学时,各模块的学时数计划见下表:

序号	内 容	建议学时数 (包括实训)
模块一	土的性质	21
模块二	基础构造与识图	12
模块三	基础设计	12
模块四	地基处理	10
模块五	基础施工	20

为了方便教与学,我们将本书所用到的素材和大量工程图片、视频素材附于书后光盘,供读者学习时使用。同时我们还建设了一个“地基与基础”课程的精品课网站,资源量更为庞大,包括现场参观、现场实训教学录像以及自学平台等。精品课网站网址是:<http://dj.gdcevi.net>。

本书由张强、李转学担任主编。模块一由张强编写;模块二、模块三由李转学编写;模块四由万衍编写;模块五由林利明、万衍编写。高等教育出版社聘请北京城建集团江海高级工程师对全书作了认真的审阅和修改,在此表示深深的敬意和由衷的感谢。



本书采用出版物短信防伪系统,用封底下方的防伪码,按照本书最后一页“郑重声明”下方的使用说明进行操作,可查询图书真伪并有机会赢得大奖。登录 <http://sv.hep.com.cn>,可获得图书相关信息及资源。

尽管编者在编写本书时已作了最大的努力,但由于水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者及专家不吝赐教。

编者

2008年12月

章 节	内 容	学时
第一章	绪论	1
第二章	课程思政	15
第三章	课程思政	15
第四章	课程思政	10
第五章	课程思政	10

# 目 录

<b>模块一 土的性质</b> .....	1
<b>项目 1 基础类型与事故</b> .....	1
一、地基与基础的概念.....	1
二、地基基础工程事故.....	2
<b>项目 2 土的成因与分类</b> .....	3
一、土的生成.....	3
二、土的组成.....	6
<b>项目 3 土的性质与定名</b> .....	12
一、三相图.....	12
二、土的物理性质指标.....	13
三、土的物理状态指标.....	17
四、土的分类.....	20
五、场地土现场鉴别.....	23
<b>项目 4 土的变形</b> .....	25
一、土的压缩性概念.....	25
二、土的压缩性指标.....	25
三、地基中的应力.....	27
四、土的固结.....	31
五、地基变形允许值与沉降观测.....	31
<b>项目 5 土的强度</b> .....	32
一、土的强度的概念.....	32
二、土的强度的工程意义.....	33
三、土的抗剪强度指标.....	33
四、土的抗剪强度指标影响因素.....	34
五、地基承载力.....	34
<b>项目 6 土的压实性</b> .....	35
一、粘性土的压实特性.....	35
二、无粘性土的压实特性.....	36
三、压实系数.....	36
<b>项目 7 土的渗透性</b> .....	36
一、土的渗透性的概念.....	36
二、渗透引发的工程问题.....	36
三、基坑开挖防渗措施.....	37
<b>项目 8 工程地质勘察报告</b> .....	37
一、工程地质勘察报告实例.....	37

二、岩土工程勘察基础知识.....	48
三、勘察方法.....	52
四、勘查报告的阅读.....	57
思考题.....	59
习题.....	59
<b>模块二 基础构造与识图</b> .....	61
预备知识 基础构造与识图知识.....	61
<b>项目 9 无筋扩展基础的构造及识图</b> .....	62
一、无筋扩展基础类型.....	62
二、无筋扩展基础结构分析.....	62
三、无筋扩展基础构造.....	64
四、基础施工图识图基础知识.....	66
<b>项目 10 墙下钢筋混凝土条形基础构造及识图</b> .....	69
一、墙下钢筋混凝土条形基础结构分析.....	70
二、墙下钢筋混凝土条形基础构造.....	71
三、墙下钢筋混凝土条形基础识图.....	72
四、条形基础平面整体表示方法介绍.....	73
<b>项目 11 柱下钢筋混凝土独立基础构造及识图</b> .....	79
一、柱下钢筋混凝土独立基础结构分析.....	79
二、柱下钢筋混凝土独立基础构造.....	79
三、柱下钢筋混凝土独立基础施工图识读.....	82
四、独立基础平面整体表示方法介绍.....	82
<b>项目 12 柱下钢筋混凝土条形基础构造及识图</b> .....	90
一、柱下钢筋混凝土条形基础结构分析.....	90
二、柱下钢筋混凝土条形基础构造.....	90
三、柱下钢筋混凝土条形基础识图.....	91
<b>项目 13 片筏基础构造及识图</b> .....	92
一、片筏基础的类型及结构分析.....	92

二、片筏基础的构造 .....	92	一、方案初选 .....	139
三、片筏基础识图 .....	94	二、单桩承载力计算 .....	140
四、筏板基础平面整体表示方法简介 .....	96	三、桩的布置 .....	144
项目 14 箱形基础构造 .....	99	四、承台尺寸确定 .....	144
项目 15 桩基础构造与识图 .....	100	五、承台结构设计 .....	144
一、桩基的分类 .....	101	六、单桩设计 .....	147
二、桩基础构造 .....	102	七、PKPM 软件 JCCAD 桩基础部分	
三、桩基础识图 .....	105	使用介绍 .....	147
思考题 .....	105	项目 23 桩基础设计实例 .....	148
实操训练题 .....	105	思考题 .....	153
<b>模块三 基础设计</b> .....	106	习题 .....	153
预备知识 基础设计知识 .....	106	<b>模块四 地基处理</b> .....	155
一、地基基础设计等级 .....	106	预备知识 地基处理知识 .....	155
二、基础设计的基本规定 .....	106	一、地基处理的目的 .....	155
三、基础设计荷载取值 .....	107	二、地基处理对象 .....	155
四、基础设计所需资料 .....	108	三、我国地基处理技术的发展现状 .....	157
五、浅基础、深基础的特点及		四、地基处理的基本原则 .....	157
适用范围 .....	108	项目 24 换填垫层法 .....	158
项目 16 浅基础设计基础 .....	109	一、概述 .....	158
一、浅基础设计步骤 .....	109	二、换填垫层的施工 .....	158
二、设计方案初选 .....	109	三、工程实例 .....	160
三、基础埋置深度确定 .....	109	项目 25 挤密桩地基 .....	162
四、承载力计算 .....	111	一、土(灰土)挤密桩地基 .....	162
五、基础底面尺寸的确定 .....	115	二、砂石桩 .....	163
六、地基验算 .....	116	三、夯实水泥土桩 .....	172
项目 17 无筋扩展基础 .....	118	项目 26 软土地基预压加固 .....	176
一、无筋扩展基础结构设计 .....	118	一、概述 .....	176
二、无筋扩展基础设计实例 .....	118	二、砂井与塑料板竖向排水系统 .....	178
项目 18 墙下钢筋混凝土条形基础 .....	123	三、工程实例 .....	185
一、墙下钢筋混凝土条形基础		项目 27 胶结法地基 .....	188
结构设计 .....	123	一、水泥石拌法 .....	188
二、墙下钢筋混凝土条形基础		二、高压喷射注浆法 .....	193
设计实例 .....	125	三、工程实例 .....	198
项目 19 柱下钢筋混凝土独立基础 .....	127	思考题 .....	200
一、柱下钢筋混凝土独立基础		<b>模块五 基础施工</b> .....	201
结构设计 .....	127	预备知识一 土压力基础知识 .....	201
二、柱下钢筋混凝土独立基础		一、挡土结构 .....	201
设计实例 .....	130	二、土压力的类型 .....	202
项目 20 钢筋混凝土柱下条形基础 .....	136	三、朗肯土压力理论 .....	203
项目 21 片筏基础简介 .....	137	四、库仑土压力理论 .....	205
项目 22 桩基础设计原理 .....	139	五、土坡稳定分析 .....	206

六、工程实例 .....	208	一、概述 .....	249
<b>项目 28 挡土墙</b> .....	210	二、混凝土基础 .....	250
一、挡土墙分类 .....	210	三、毛石混凝土基础 .....	251
二、挡土墙构造 .....	210	<b>项目 34 钢筋混凝土扩展基础施工</b> .....	252
<b>预备知识二 基坑支护</b> .....	215	一、概述 .....	252
一、概述 .....	215	二、施工要点 .....	253
二、支护类型 .....	215	<b>项目 35 筏板基础施工</b> .....	254
三、基坑安全等级 .....	217	一、概述 .....	254
<b>项目 29 排桩支护</b> .....	218	二、施工要点 .....	255
一、概述 .....	218	<b>项目 36 预制桩施工</b> .....	256
二、排桩围护的施工 .....	219	一、概述 .....	256
三、工程实例 .....	224	二、桩基施工机械设备 .....	257
<b>项目 30 地下连续墙支护</b> .....	225	三、打(沉)桩工艺方法要点 .....	260
一、概述 .....	225	四、预制桩施工常见的质量通病及 防治措施 .....	262
二、地下连续墙的施工 .....	227	五、质量控制与检验 .....	265
三、工程实例 .....	233	<b>项目 37 灌注桩施工</b> .....	266
<b>项目 31 基坑降水</b> .....	234	一、概述 .....	266
一、概述 .....	234	二、冲击钻成孔灌注桩 .....	267
二、降水的作用 .....	235	三、回转钻成孔灌注桩 .....	269
三、基坑降水施工 .....	235	四、潜水钻成孔灌注桩 .....	270
四、工程实例 .....	243	五、泥浆护壁成孔灌注桩质量通病 及防治 .....	272
<b>项目 32 基坑施工监测</b> .....	245	六、灌注桩的质量控制、检验与验收 .....	277
一、概述 .....	245	<b>项目 38 桩基础的检测技术</b> .....	279
二、土压力的量测 .....	246	思考题 .....	281
三、支护结构内力的量测 .....	247	<b>参考文献</b> .....	282
四、孔隙水压力与地下水的量测 .....	247		
五、位移量测 .....	248		
<b>项目 33 刚性基础施工</b> .....	249		



# 模块一

## 土的性质

### 项目1 基础类型与事故

#### 一、地基与基础的概念

##### (一) 地基

通常把一个建筑物在地面以上的部分称为上部结构。不论上部结构是何种形式,都要建造在地层上面,一个建筑物的所有荷载最终都要传给下面的地层。

##### 1. 定义

承受建筑物荷载的地层称为地基。其中直接与建筑物接触,并承受压力的土层称为持力层,持力层下部的土层称为下卧层。

##### 2. 地基的分类

地基按地质情况分为土基和岩基。按是否需要人工处理分为天然地基和人工地基。其中,天然地基指在天然土层上修建,土层要符合修建建筑物要求的地基;人工地基指经过人工处理或加固的地基。

##### (二) 基础

##### 1. 定义

土受到压力作用就要产生压缩变形,其压缩程度比常见建筑材料(如钢筋、混凝土)大得多,压力过大还会产生强度破坏。为了保证建筑物的安全和正常使用,建筑物需要一个可靠的下部结构向地基传递荷载,这一部分称为基础,通常埋在地面以下。从室外设计地面到基础底面的垂直距离称为基础的埋置深度。

##### 2. 分类

**浅基础** 埋深较浅,常见做法为将建筑物与土接触部分的底面积适当扩大,也就是要比柱和墙身的横断面尺寸大一些,以减小接触面积上的压强。

**深基础** 埋深较深。

地基与基础关系如图 1-1 所示。

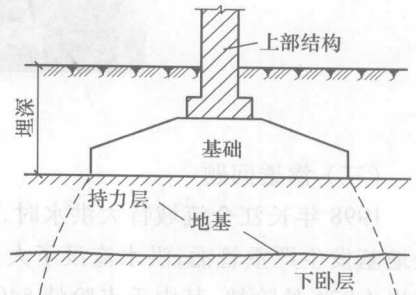


图 1-1 地基与基础示意图

## 二、地基基础工程事故

地基基础工程事故一般牵涉土的变形、强度、渗透三大问题,以下各举一典型实例。

### (一) 变形问题

意大利比萨斜塔(图 1-2)是一个典型的地基变形实例,举世闻名。该塔始建于 1173 年,当建至第四层(约 29 m 高)时,发现塔身倾斜而被迫停工;1272 年复工,建至第七层(48 m 高),再次停工;1360 年再次复工,1370 年竣工。全塔共 8 层,55 m 高。该塔由于建造在不均匀的高压缩性地基上,致使北侧下沉 1 m 有余,南侧下沉近 3 m,沉降差达 1.8 m,倾角达  $5.8^\circ$  之多。塔顶离开中心线的水平距离达 5.27 m,成为危险建筑,曾于 1990 年被迫封闭,2001 年才重新开放。比萨斜塔的倾斜归因于它的地基不均匀沉降。意大利政府比萨斜塔扶“正”工程耗资 4 000 万美元,经过 17 年(1990—2007)的努力,比萨斜塔目前塔顶中心点偏离垂直线的距离比施工前减少 45 cm,回归到 1838 年时的倾斜角度。

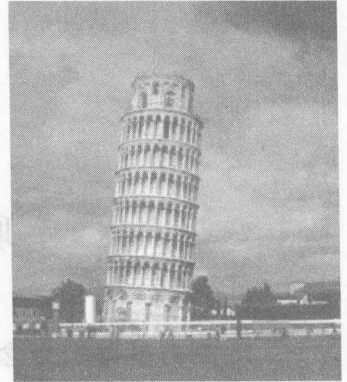


图 1-2 比萨斜塔

### (二) 强度问题

加拿大特朗斯康谷仓(图 1-3)的倾倒,是地基强度破坏的典型工程实例。1913 年建成的加拿大特朗斯康谷仓,由于事前未作调查研究,不了解基础下埋藏厚达 16 m 的淤泥层,仅仅参考临近建筑物基槽数据推算地基承载力为 352 kPa,而谷仓地基实际承载力只有 200 kPa 左右,结果初次贮存谷物时,基底压力达 330 kPa,远超地基实际承载力,导致地基强度破坏而整体滑动,谷仓失稳倾倒,西端下沉 7.32 m,东端上抬 1.52 m,倾斜  $27^\circ$ ,好在谷仓整体性强,上部结构完好无损,事后在主体结构下做了 70 多个支承在基岩上的混凝土墩,用了 388 个 500 kN 的千斤顶才将谷仓扶下,但其标高比原来降低了 4 m。

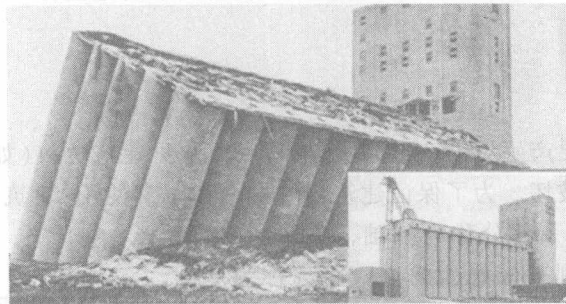


图 1-3 特朗斯康谷仓

### (三) 渗透问题

1998 年长江全流域特大洪水时,万里长江堤防经受了严峻的考验,一些地方的大堤垮塌,大堤地基发生严重管涌,洪水淹没了大片土地,人民生命财产遭受巨大的威胁。仅湖北省沿江段就查出 4 974 处险情,其中重点险情 540 处中,有 320 处属地基险情;溃口性险情 34 处中,除 3 处是涵闸险情外,其余都是地基和堤身的险情,这些主要由于土的渗透问题引发。

## 项目2 土的成因与分类

学习本课程需要了解土的基本性质,因为基础工程不论设计还是施工都主要与土打交道。

土的性质异常复杂,这主要源于土的种类繁多且土是松散颗粒的集合体,使它有别于钢筋、混凝土这些材料,即使是现代科技水平也没有办法完全精确认知。例如土的应力-应变之间的关系,这样一个力学研究领域最基本的问题,目前都没有绝对权威的理论。

没有哪种材料像土这样,如此熟悉,却暂时了解非常有限。

以下从土的形成、组成入手,从相对宏观层面介绍土的各种基本性质及其工程应用。目的是使读者对土的性质有一个基本认识。

### 一、土的生成

#### (一) 土的形成

首先了解土的形成过程。我们知道地球表面有一层连续坚固的岩层,经过各种风化作用(风吹、日晒、微生物活动等),岩石表面开裂形成风化带(图1-4),进一步发展就会在岩石表面生成松散颗粒,这就是“土”。因此,土是一种松散颗粒的集合体。

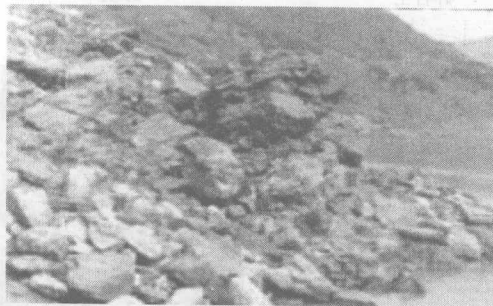


图1-4 岩石的风化和崩解

风化作用不同,形成土的性质也不同,风化作用有以下三种。

#### 1. 物理风化

岩石经风吹日晒雨淋,表面分解为碎块,但没有新矿物生成,称为物理风化(图1-5)。

物理风化生成的土一般颗粒较粗,颗粒间没有粘性,如碎石土、砂土(图1-6),称为无粘性土。

#### 2. 化学风化

岩石碎屑与外界介质产生化学反应,生成新矿物——次生矿物,称为化学风化。

化学风化生成的土一般颗粒较细,颗粒间具有粘性,称为粘性土(图1-7)。

#### 3. 生物风化

由于生物活动造成岩石破裂的现象称为生物风化(图1-8)。

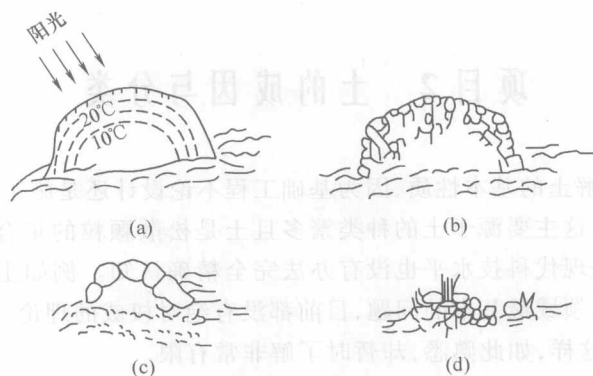
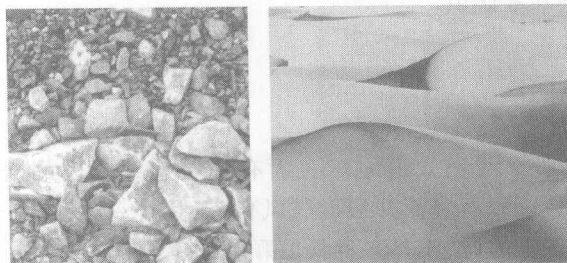


图 1-5 温度作用产生的岩石风化



碎石土

砂土

图 1-6 碎石土、砂土图片



粘性土

显微结构

图 1-7 粘性土及其显微结构

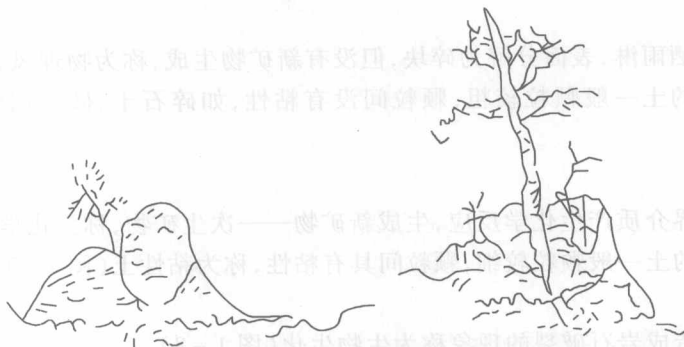


图 1-8 树木根系产生的岩石风化

## (二) 土按成因的分类

土是岩石风化的产物,按形成过程,还可进一步分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、风积土、海相沉积土等,种类较多,本书仅列举两种,以说明形成过程不同对土的性质影响。

### 1. 残积土

定义:如果岩石风化生成的松散颗粒残留在原地,则称为残积土(图 1-9)。

工程性质:残积土作为地基,由于分布不均匀,应当注意不均匀沉降和土坡稳定性问题。

### 2. 冲积土

如果有河流从岩石表面流过,就会发生剥蚀及搬运作用,松散颗粒会随河流而下在较平缓地段沉积下来则成为冲积土,冲积土分布范围很广,广大平原地区以冲积土为主。由于河流的搬运,冲积土颗粒圆滑,土层交叠,具有明显层理构造(图 1-10)。

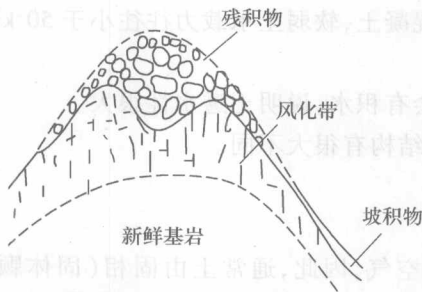


图 1-9 残积土示意图

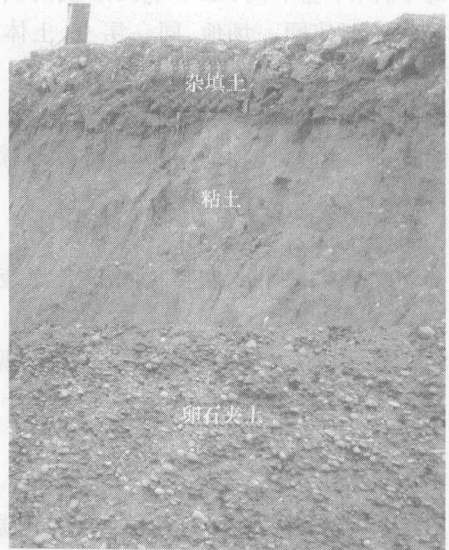


图 1-10 土的层理

一些地质现象可以用土的形成来解释,如“河曲”现象(图 1-11)。河流在冲积平原上,常呈螺旋状弯曲,称为河曲。它的形成包括侵蚀和沉积双重作用,由于河道的弯曲,河流对两岸的作用是不同的,流速慢的一侧沉积大量颗粒,而流速快的一侧发生剥蚀作用,久而久之,河道会越来越弯曲,最终造成河流改道。

## (三) 土的特性

土形态各异,地区性强,又是松散体系,因此土力学的学习有别于其他力学,更强调实验研究和工程积累,它没有统一的力学体系,是一门独特的力学。相对于其他材料,土具有下列几个特性:

### 1. 差异性大

由于下述原因,造成土的性质千差万别。

① 母岩的成分以及风化作用差异,造成土的矿物组成各异。

② 搬运、沉积过程不同,如前所述,残积土与冲积土性质显著不同。



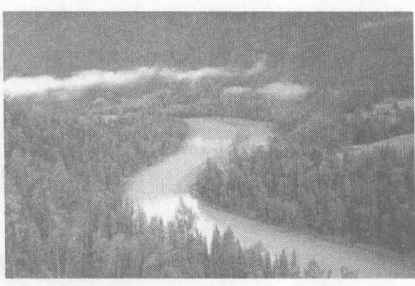
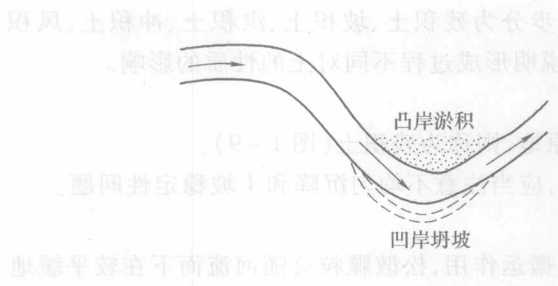


图 1-11 河曲的形成

③ 沉积环境不同,如干旱区形成的黄土,湿热区形成的红土,静水区形成的淤泥,它们在性质上有别。即使同一场地,同一层土,土体的性质沿深度、水平方向都会存在差异。

### 2. 物理力学性质特别

#### (1) 土压缩性高

同样荷载、材料厚度条件下,卵石压缩性为钢材的数千倍,细砂压缩性为 C20 混凝土的数千倍。

#### (2) 强度低

土的强度来源主要靠颗粒间摩擦力,远小于钢筋、混凝土,软弱土承载力往往小于 50 kPa。

#### (3) 透水性大

将一杯水倒在地面上,水很快就会不见了,基本不会有积水,说明土透水性很大。

上述土的特性决定了地基基础的设计、施工与上部结构有很大不同。

## 二、土的组成

土由固体颗粒、颗粒间孔隙组成,孔隙中充满水和空气,因此,通常土由固相(固体颗粒)、液相(水)、气相(空气)组成,是三相体系(图 1-12),其中固体颗粒构成土的骨架。地下水位以下的土,孔隙中常常浸水饱和,孔隙中充满水的土称为饱和土;孔隙中没有水只有空气的土称为干燥土,这两种情况下,土是二相体系。

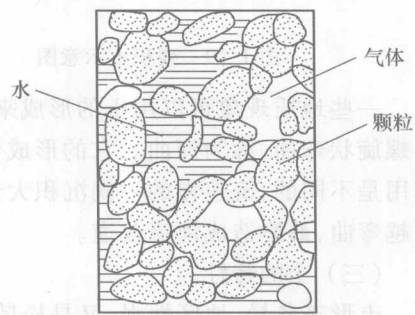


图 1-12 土的三相组成

构成土的颗粒、水、空气三者比例不同,土的性质随之不同,如三相组成中颗粒体积在总体积中所占比例越大,土就越密实,通常承载力高、变形小,是良好的天然地基。

土的三相比例又是经常变化的,比如气候改变、地下水位升降都会造成土的三相比例的改变,从而造成土的性质改变。

研究土的工程性质,需要从最基本的土的三相组成开始研究。

#### (一) 固相——固体颗粒

土的固体颗粒构成土的骨架,其大小、形状、矿物成分及粒组相对含量是决定土的物理力学

性质的主要因素。土粒粒组的划分见表 1-1。

表 1-1 土粒粒组的划分

粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
巨粒	漂石(块石)粒	$d > 200$	透水性很大,无粘性,无毛细水
	卵石(碎石)粒	$60 < d \leq 200$	
粗粒	砾粒	粗粒 $20 < d \leq 60$	透水性大,无粘性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		细粒 $2 < d \leq 20$	
	砂粒	$0.075 < d \leq 2$	易透水,无粘性,遇水不膨胀,干燥时松散,毛细水上升高度不大
细粒	粉粒	$0.005 < d \leq 0.075$	透水性小,湿时稍有粘性,遇水膨胀小,干时稍有收缩,毛细水上升高度较大,易冻胀
	粘粒	$d \leq 0.005$	透水性很小,湿时有粘性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著,毛细水上升高度大,但速度慢

土的颗粒形状对土的工程性质有何影响?如块石是表面有棱角、比较粗糙的土粒,而漂石是表面比较光滑的粒组。土是松散颗粒,土的强度在相当程度上取决于颗粒间的摩擦力,故比较粗糙的土粒其强度比圆滑粒组高。

### 1. 土的颗粒级配的概念

自然界中的土组成复杂,并非单一粒组,一般由多个粒组组成,它们的颗粒工程中用土中各粒组的含量占总质量的百分比表示,称为土的颗粒级配。对于砂土、碎石土这种土粒较大的无粘性土,颗粒级配是重要指标,是进行定名的依据。

### 2. 颗粒级配的测定方法

颗粒分析试验可分为筛析法和密度计法(比重计法),对于粒径大于 0.075 mm 的土粒可用筛析法测定,而对于粒径小于 0.075 mm 的土粒则用比重计法来测定。

筛析法是将称好的土样倒入依次叠好的标准筛(由各种不同孔径的筛子组成,孔径为 20 mm、10 mm、5 mm、2 mm、1.0 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm,见图 1-13),然后按照顺时针或逆时针进行筛析。振摇时间一般为 10~15 min,逐级称取留在各筛上的质量。

对于粒径小于 0.075 mm 的土粒,筛分法分不出来,应用比重计法(也称为水中沉降法),根据沉降速率与粒径的平方成比例,颗粒越大,沉降速度越快,分出粒径的大小。详细方法参阅其他资料。

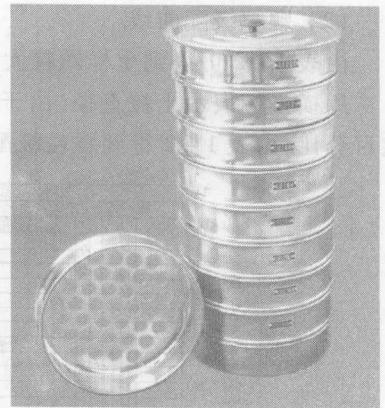


图 1-13 标准筛

### 3. 筛分试验成果分析

#### (1) 颗粒分析试验记录表(筛析法)

筛析法试验记录见表 1-2。

表 1-2 筛析法试验记录表

孔径 /mm	留筛土质量 /g	累积留筛土质量 /g	小于该孔径 的土质量 /g	小于该孔径的土 质量百分数 /%
20	177.5	177.5	322.5	64.5
10	20.0	197.5	302.5	60.5
5	30.0	227.5	272.5	54.5
2	47.5	275.0	225.0	45.0
1	43.0	318.0	182.0	36.4
0.5	52.0	370.0	130.0	26.0
0.25	42.5	412.5	87.5	17.5
0.075	30.5	443.0	57.0	11.4
底盘总计	57.0	500.0	—	—

#### (2) 颗粒级配曲线

由表 1-2 可得到土样颗粒大小组成情况,但不够直观,故引入颗粒级配曲线。

用横坐标表示土粒直径(由于粒径相差数百倍,采用对数坐标),纵坐标表示小于某粒径土重百分比,由表 1-2 得到颗粒级配曲线(图 1-14 中 a 曲线)。

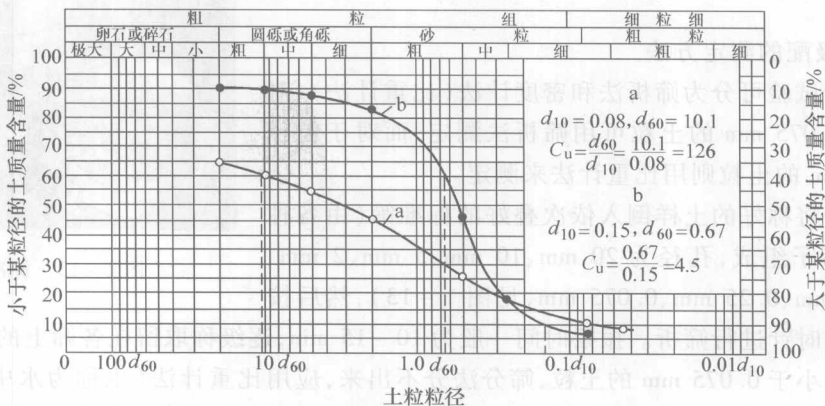


图 1-14 颗粒级配曲线

由曲线的坡度可以大致判断土粒的均匀程度或级配是否良好。工程上希望得到密实的土,如果土的颗粒组成合理,有粗有细,则大颗粒间的孔隙可由小颗粒填充,土就容易密实,反之,颗粒比较均匀(如一筐乒乓球),孔隙比较大,就不容易得到密实的土。

如曲线较陡,表示粒径分布范围较窄,相差不多,土粒较均匀,级配不良;反之,曲线平缓,则表示粒径大小相差悬殊,土粒不均匀,级配良好。

### (3) 指标

为了定量反映土的级配特征,工程上常用两个级配指标来描述:

不均匀系数

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (1-1)$$

曲率系数

$$C_c = d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60}) \quad (1-2)$$

式中  $d_{10}$ ——有效粒径,通过率是 10% 时的粒径,是土样中所含细粒土大小程度的指标;

$d_{60}$ ——限定粒径,通过率是 60% 时的粒径;

$d_{30}$ ——通过率是 30% 时的粒径。

不均匀系数  $C_u$  表示颗粒级配曲线的倾斜度,反映土粒大小的均匀程度。 $C_u$  越大,表示土粒径的分布范围越大,土粒愈不均匀,土的级配良好。比较图 1-14 中 a、b 两土样, a 曲线平缓,不均匀系数更大,表明 a 土样更不均匀,级配更好。

曲率系数  $C_c$  可以反映颗粒级配曲线的平滑度。 $C_c$  值接近 1,曲线平滑,表示土中含有大小不同的土颗粒。

一般  $C_u < 5$  的土为级配不好,  $C_u > 10$  且  $C_c = 1 \sim 3$  时,为级配良好的土,其密实度高,如果作为地基土,其强度高,稳定性好,透水性和压缩性小,一般为良好地基;若作为填方工程的建筑材料,则较易获得较大的密实度,是良好的填方用土。

## (二) 液相——土中水

土中水按其形态可分为固态水、液态水、气态水。

### 1. 固态水

固态水是指土中水在温度降至  $0^\circ\text{C}$  以下时结成的冰。水结冰后体积会增大,使土体产生冻胀(图 1-15),破坏土的结构,冻土非常坚硬,但融化后强度大大降低。寒冷地区基础的埋置深



图 1-15 冻胀丘