

■ 张晓翹 刘旭东 主 编

地基 基础

DIJI JICHU



 中央广播电视大学出版社

地基基础

张晓翹 刘旭东 主 编

中央廣播電視大學出版社

北 京

内容简介

本书具体内容包括绪论、工程地质、土力学基本原理、工程地质勘察、基础设计基本概念、天然地基上浅基础设计、桩基础设计、特殊地基设计、地基基础抗震设计、基坑工程、地基工程检验与监测十一个项目。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础 / 张晓翹, 刘旭东主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2014.1

ISBN 978-7-304-05558-5

I. ①地... II. ①张... ②刘... III. ①地基—基础
IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 092698 号

版权所有, 翻印必究。

地基基础

张晓翹 刘旭东 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010-58840200 总编室 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 苏 醒

责任编辑: 谷春林

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

印数: 0001~3000

版本: 2014 年 1 月第 1 版

2014 年 1 月第 2 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 13.25 字数: 311 千字

书号: ISBN 978-7-304-05558-5

定价: 38.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

前言

PREFACE

本书具体内容包括绪论、工程地质、土力学基本原理、工程地质勘察、基础设计基本概念、天然地基上浅基础设计、桩基础设计、特殊地基设计、地基基础抗震设计、基坑工程、地基工程检验与监测十一个项目。

本书由张晓翹、刘旭东担任主编，王强任副主编，其中项目一、项目三和项目四由张晓翹编写，项目五和项目六由王强编写，项目七至项目十由刘旭东编写，参加编写的还有马艳霞，负责编写项目二和项目十一。

由于编者水平所限，书中疏漏在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

项目一 绪论

任务一 地基、基础及土力学的基本概念.....	1
任务二 地基、基础在工程中的地位及重要性.....	3
任务三 本课程的特点和学习方法.....	3

项目二 工程地质

任务一 概 述	5
任务二 地质作用及地质年代	6
任务三 岩石成因、特征及分类	8
任务四 土的物理性质及工程分类.....	9
任务五 地下水及其侵蚀性	21
任务六 土中的渗流和渗透性	22
项目内容拓展	24
思考题	24
习 题	25

项目三 土力学基本原理

任务一 概 述	26
任务二 地基的应力	27
任务三 地基变形	36
任务四 土的强度指标	48
任务五 土压力及挡土墙设计	56
任务六 土坡稳定分析和计算	64
项目内容拓展	65



思考题	67
习 题	67

项目四 工程地质勘察

任务一 概 述	68
任务二 勘探和取样	71
任务三 工程勘察的室内土工试验及原位测试.....	73
任务四 地质勘察报告	74
任务五 勘察报告的阅读与使用	77
项目内容拓展	78
思考题	79

项目五 基础设计基本概念

任务一 概 述	80
任务二 基本规定	81
任务三 基础分类	84
任务四 基础设计的重要概念	88
项目内容拓展	94
思考题	94
习 题	94

项目六 天然地基上浅基础设计

任务一 设计内容及基本参数确定.....	96
任务二 无筋扩展基础设计	104
任务三 扩展基础设计	109
任务四 柱下钢筋混凝土条形基础设计.....	119
项目内容拓展	123
思考题	124
习 题	124

项目七 桩基础设计

任务一 桩基础的概念及适应性	126
----------------------	-----

任务二 竖向荷载作用下的单桩工作性状.....	127
任务三 竖向荷载下单桩承载力的确定方法.....	130
任务四 桩基计算	136
任务五 桩基础设计	139
项目内容拓展	151
思考题	152
习 题	153

项目八 特殊地基设计

任务一 概 述	154
任务二 软土地基	155
任务三 膨胀土地基	157
任务四 山区地基	161
项目内容拓展	164
思考题	165

项目九 地基基础抗震设计

任务一 场 地	166
任务二 砂土液化	168
任务三 地基基础抗震验算	172
思考题	174

项目十 基坑工程

任务一 概 述	175
任务二 基坑支护结构设计依据及标准.....	176
任务三 支护结构的选型及布置形式.....	177
思考题	182

项目十一 地基工程检验与监测

任务一 概 述	184
任务二 基槽检验	185
任务三 桩基检验	187

任务四 建筑物变形观测194

任务五 基坑工程监测197

思考题200

参考文献201

项目一 绪 论

【学习目标】

- ◆ 掌握地基、基础及土力学的基本概念。
- ◆ 了解地基、基础在工程中的地位及重要性。

【学习建议】

- ◆ 以理论学习为主，掌握地基、基础及土力学的基本概念。
- ◆ 在掌握本课程的特点后，结合实际总结本课程的学习方法和建议。

【创设情景】

小王是工程地质专业刚毕业的大学生，目前在一家地质研究所工作。试问：小王作为一名合格的地质研究人员，他应该具备哪些专业知识？

【理论知识】

任务一 地基、基础及土力学的基本概念

一、地基定义及分类

建筑物的全部荷载最终由其下的地层来承担，承受建筑物全部荷载的那一部分地层称为地基（见图 1-1）。地基分为天然地基和人工地基。

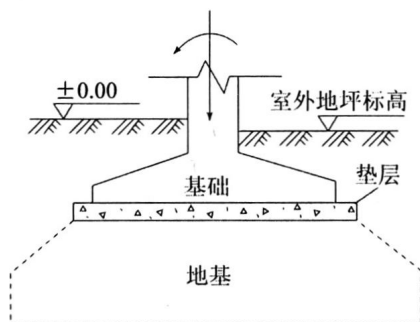
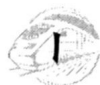


图1-1 地基及基础示意图



1. 天然地基

力学性能满足建筑物的承载和抗变形能力要求的地层称为天然地基。建筑物的基础可直接设置在该天然地层上。

承载能力和抗变形能力大小是衡量地层能否作为天然地基的基本指标。承载能力要求是指该地层必须具有足够的强度和稳定性以及相应的安全储备；抗变形能力要求是指该地层承受建筑物荷载后不能产生过量的沉降和过大的不均匀沉降。

2. 人工地基

当天然地层无法满足承受建筑物全部荷载的承载能力和抗变形能力基本要求时，可对一定深度范围内的天然地层进行加固处理，使其能发挥持力层作用，这部分地层经过人工改造后成为的地基称为人工地基。

二、基础的定义

由于地层土的压缩性大、强度低而不能直接承担通过墙和柱等竖向传力构件传来的建筑物的上部结构荷载，所以只能在竖向传力构件（墙和柱等）直接与地基的接触处设置一层尺寸大于墙或柱断面的结构，以将荷载扩散后安全地传递给地基，这种起到扩散墙柱等竖向传力构件荷载作用的建筑物最下部的结构称为基础（见图 1-1）。

基础是连接上部结构与地基的结构构件，基础结构应符合上部结构使用要求，技术上合理，施工方便，能满足地基的承载能力和抗变形能力要求。基础按埋置深度和传力方式可分为浅基础和深基础。

1. 浅基础

相对埋深（基础埋深与基础宽度之比）不大，采用普通方法与设备即可施工的基础称为浅基础。浅基础按结构形式分为独立基础、条形基础、板式基础、筏式基础、箱形基础、壳体基础等。

2. 深基础

当建筑物荷载较大且上层土质较差，采用浅基础无法承担建筑物荷载时，须将基础埋置于较深的土层上，通过特殊的施工方法将建筑物荷载传递到较深土层，这种基础称为深基础。

深基础可分为桩基础、沉井基础和地下连续墙等。

三、土力学的定义和研究对象

建筑物的荷载使地基中原有的应力状态发生变化，这就需要运用力学的方法来研究。

利用力学的基本原理和土工测试技术来研究土的物理性质和土受力后的应力、强度、变形、稳定、渗透性及其随时间的变化规律的学科称为土力学。

土力学是工程力学的一个分支。

由于土力学研究的对象——“土”是散粒体，属于三相体系，其力学性质与一般材料

不同,所以在解决土工问题时,土力学很难像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式,它常常要借助于工程实践经验的积累、现场测试以及室内土工实验来进行分析。因此,土力学是一门依赖于工程实践,理论与实际紧密结合的学科。

任务二 地基、基础在工程中的地位及重要性

地基和基础是建筑物的根基。地基的选择或处理是否正确,基础的设计与施工质量的好坏均直接影响建筑物的安全性、经济性和合理性。

从安全性来分析,地基与基础的质量好坏对建筑物安全性的影响是巨大的。一旦发生地基与基础质量事故,对其补救和处理十分困难,有时甚至无法补救。因地基与基础质量问题造成的建筑物倾斜或倒塌的工程实例非常多。我国的虎丘斜塔、意大利的比萨斜塔是典型的建筑物倾斜的例子;加拿大的特朗斯康谷仓整体失稳事故,我国武汉的某高层建筑因地基问题造成建筑物严重倾斜并最终拆除,均是地基失效的例子。

从经济性来分析,基础工程占整个建筑的建设费用的比例相当大。一般采用浅基础的多层建筑的基础造价占建筑造价的15%~20%,采用深基础的高层建筑基础工程造价占总建筑费用的比例为20%~30%。

从合理性来分析,建筑物基础形式的合理选择是保证基础安全性和经济性的关键。然而,合理选择基础形式还有许多工作要做。近20年来,国内外提出了许多新型的基础形式,这些工作为合理选择基础形式提供了技术支持。

任务三 本课程的特点和学习方法

一、本课程的特点

地基基础是一门理论性和实践性均较强的课程。不同地区的地质条件各不相同,除了常规的基础形式之外,各地区均有许多适应于该地区地质条件的基础形式。一个好的地基基础设计方案应是在充分了解地质资料,对地基土的特性进行仔细分析并结合土力学知识、基础设计方法和各地区的实践经验后才能得出。

本课程具有如下基本特点:

(1) 在规划、勘探、设计、施工及使用阶段,地基基础问题是一个最基本的,并且需要分析和解决好的问题。

(2) 地基基础属于隐蔽工程,其质量直接影响结构安全使用,一旦发生质量问题,处理起来相当复杂和困难。

(3) 地基土的条件千变万化,建筑场地一旦确定,均要根据该场地的地质条件来设计基础,所以通过地质勘探来了解地质条件是必不可少的工作。



(4) 地基基础涉及的内容广泛,要有综合的知识。同时,理论知识与实践经验的结合是地基基础课程的又一大特点。地基基础课程与工程力学、建筑材料、建筑结构设计、施工技术、工程地质、土的力学性能等有密切的关系,充分掌握上述学科的基本原理和相关关系是做好地基基础的设计与施工工作的基本保证。

(5) 本课程的知识更新周期较短。随着科技的发展,涌现了大量新的基础形式和地基基础新技术,这就要求不断学习,求真务实。

二、学习方法和建议

1. 掌握基本理论和方法

学会运用土力学等基本原理和概念,结合结构设计方法和施工技术,提高分析问题和解决问题的能力。

2. 采用综合的思维方式来学习

要注意到地基基础学科与其他学科的联系,特别是结构设计、抗震设计等。这些学科中有许多概念和方法在地基基础设计时必须用到。

3. 理论与实践必须相结合

教学环节要分理论教学和实践教学,必要时可组织现场教学,参观施工现场。只有通过理论与实践的比较才能逐步提高认识,提高地基基础的设计与施工能力。

项目二 工程地质

【学习目标】

- ◆ 掌握地质作用的基本概念。
- ◆ 了解主要的成岩矿物，火成岩、沉积岩与变质岩的特点和常见岩石种类。
- ◆ 熟悉地质年代的基本概念。
- ◆ 掌握土的定义、土的成因和按成因分类。
- ◆ 掌握土的三相指标换算和土的工程分类。
- ◆ 了解地下水的分类和土的渗透性概念。
- ◆ 了解渗透变形和地下水的侵蚀性。

【学习建议】

- ◆ 以理论学习为主，结合室内试验和野外实习，熟悉常见矿物和岩石，了解常见地质现象。
- ◆ 熟记土的三相简图和土的三相物理指标换算图。在掌握基本概念和例题的条件下再做习题。

【创设情景】

天创公司某工地进行基础施工时需做一定厚度的塑土垫层。现已知回填土的天然密度为 1.64 g/cm^3 ，任取 $1\ 000 \text{ g}$ 代表性土样，烘干后称得干土质量为 892.86 g ，欲使该土在 20% 的含水量状态下回填夯实，问每 1 m^3 土需加水多少千克？

【理论知识】

任务一 概述

地球是宇宙中的一颗行星，自形成以来已经历了漫长的地质演变时期，地质作用自始至终贯穿在这一演变过程中。地球是一个旋转的椭球体，赤道半径为 $6\ 378.4 \text{ km}$ ，两极半径为 $6\ 365.9 \text{ km}$ 。地球内部物质的密度随深度增加而增加，并呈同心圈层结构，地球内部由地壳、地幔、地核组成，如图 2-1 所示。地壳由各种岩石组成，表层多为沉积岩，其下层为变质岩，密度约为 $2.7\sim 2.9 \text{ g/cm}^3$ ，大陆地壳平均厚度约 33 km ，高山区可达 $70\sim 80 \text{ km}$ ，位

于大洋底部的大洋地壳，由玄武岩组成，平均厚度较小，为 7~8 km；地壳以下至大约 2 900 km 深处为地幔，密度为 3.32~4.64 g/cm³；地幔以下直到地心的部分称为地核，地核由液态外核和固态内核组成，密度为 11.0~16.0 g/cm³。

由地表岩石圈构成的地壳，其内部构造复杂，岩石圈具有较强的刚性，在自然动力作用下分裂成若干块体，称为板块，板块运动是构造运动发生的根源。由于岩石的成因、时代、岩性的不同，加之地质作用形成不同的地质构造、地形以及地下水类型，这就造成场地的工程地质条件存在明显的差异，直接影响工程建设。系统掌握工程地质基础知识和理论，有助于全面分析和评价建设场地的工程地质条件，制定合理的不良地质问题防治对策，以保证工程建设的顺利开展。

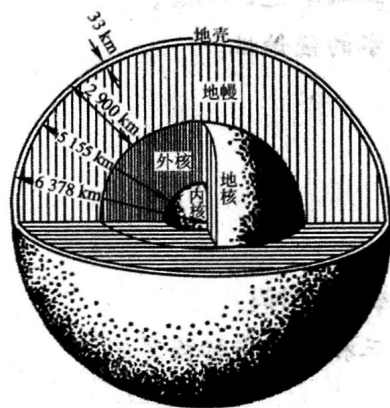


图2-1 地球的内部圈层构造

任务二 地质作用及地质年代

一、地质作用

地球形成以来，一直处于不断运动和变化之中。地球在其形成 46 亿年的历史中逐渐发展和演化成今天的面貌。

由自然动力引起地球和地壳物质组成、内部结构和地壳形态不断变化和发展的作用，称为地质作用。地质作用实质上是组成地球的物质以及由其传递的能量发生运动的过程，地质作用的发生常常引发灾害。

地质作用按照动力来源的不同，可划分为内力地质作用、外力地质作用及工程地质作用。内力地质作用由地球内部放射性元素蜕变产生的辐射热能，以及地球旋转能和重力能引起。外力地质作用主要由地球以外的太阳辐射能引起。工程地质作用实际上是人为地质作用。例如，采矿移动大量岩体，引起地表变形、崩塌、滑坡；石油、天然气和地下水开采，因岩土层内疏干排水造成地面沉降；土木工程建设中，开挖引起的滑坡、洞室围岩塌方、地基失稳。

二、地质年代

1. 绝对年代的确定

自 20 世纪 30 年代发现了元素的放射性后，同位素地质年代测定方法得到越来越广泛的应用。其基本原理是基于放射性元素具有固定的衰变系数（衰变系数是代表每 1 年每 1 克母体同位素能产生的子体同位素的克数），测出矿物中放射性同位素蜕变后剩余的母体同位素含量与蜕变而成的子体同位素含量，由此可以计算出该矿物从其形成到现在的实际年

龄，即代表岩石的绝对年代。

2. 地质年代表

人们通过对全球各个地区地层划分和对比以及对各种岩石进行同位素年龄测定，按年代先后进行系统性的编年，列出“地质年代表”。它的内容包括地质年代单位、名称、代号和绝对年龄值等。

地质年代表使用不同级别的地质年代单位和年代地层单位。地质年代单位包括宙、代、纪、世，与其相对应的年代地层单位分别是宇、界、系、统。

宙是地质年代的最大单位，根据生物演化，把距今 6 亿年以前仅有原始菌藻类出现的时代称为隐生宙，距今 6 亿年以后称为显生宙，显生宙是地球上生命大量发展和繁荣的时代。与宙相对应的年代地层单位为宇。

代是地质年代的二级单位。隐生宙划分为两个代：太古代和元古代；显生宙划分成 3 个代：古生代、中生代、新生代。与代相对应的年代地层单位为界。

纪是地质年代的三级单位。古生代分为 6 个纪，中生代分为 3 个纪，新生代分为 2 个纪。与纪相对应的年代地层单位为系。

世是纪下面的次一级地质年代单位。一般一个纪分成 3 个或 2 个世，称为早世、中世、晚世或早世、晚世，并在纪的代号右下角分别标出 1、2、3 或 1、2 表示之。比较特殊的是新生代划分为 7 个世。与世相对应的年代地层单位为统，它们相应地称为下统、中统和上统。

表 2 - 1 为地质年代表的节选，表中仅列出了显生宙的新生代和中生代的内容。

表2 - 1 地质年代表（节选）

相对年代				距今年 龄/Ma	生物开始 出现时间	主要地壳运动		
宙（宇）	代（界）	纪（系）					世（统）代号	
显生宙 （宇）	新生代 （界） K ₂	第四纪（系）Q		全新世（统）Qh	0.01	现代人	喜马拉雅运动	
				更新世（统）Qp	2.0			
		第三纪 （系） R	晚第三纪 （系）N	上新世（统）N ₂	5.3			古猿
				中新世（统）N ₁	24.6			
			早第三纪 （系）E	渐新世（统）E ₃	38.0			
				始新世（统）E ₂	54.9			
				古新世（统）E ₁	65			
	中生代 （界） M ₂	白垩纪（系）K		晚（上）K ₂ 白垩世（统） 早（下）K ₁	144	被子植物	燕山运动	
		侏罗纪（系）J		晚（上）J ₃ 中（中）侏罗世（统）J ₂ 早（下）J ₁	213			哺乳类
		三叠纪（系）T		晚（上）T ₃ 中（中）三叠世（统）T ₂ 早（下）T ₁				

任务三 岩石成因、特征及分类

一、造岩矿物及岩石定义

矿物是指地壳中具有一定化学成分、内部构造和物理性质的自然元素或化合物，它是各种地质作用的天然产物，是岩石的基本组成部分。矿物是影响岩石工程性质的主要因素。目前，已发现的矿物种类有 3 000 多种，但主要造岩矿物只有 100 多种，最常见的仅 10 多种。绝大部分矿物为固态，少数为液态和气态。

岩石是由矿物或岩屑在地质作用下按一定规律凝聚而成的自然地质体。

二、岩石的分类

1. 沉积岩

沉积岩是由风化作用或火山作用的产物经机械搬运、沉积、固结而形成的岩石。沉积岩由颗粒和胶结物组成，颗粒包括各种不同形状和大小的岩屑及不同矿物，胶结物常见的有钙质、硅质、铁质以及泥质等。沉积岩的物理力学特性不仅与矿物和岩屑的成分有关，而且与胶结物的性质有很大关系。硅质、钙质胶结的沉积岩，其强度一般较高；而泥质胶结的和带有一些黏土胶结的沉积岩，其强度就较低。另外，沉积岩具有的层理构造，使沉积岩沿不同方向表现出不同的力学性能。常见的沉积岩有石灰岩、砂岩、页岩、砾岩等。

沉积岩的颗粒主要由岩屑与矿物组成。岩屑为岩石的风化碎屑。碎屑矿物主要是风化作用后形成的较稳定矿物，如石英、长石和白云母等。化学矿物主要是沉积过程中产生的方解石、白云石、岩盐、石膏、黏土矿物等。

2. 火成岩（岩浆岩）

火成岩是由岩浆冷凝而形成的岩石。绝大多数的岩浆岩是由结晶矿物所组成的。由于组成岩浆岩的各种矿物的化学成分和物理性质较为稳定，它们之间的连接是牢固的，因此岩浆岩通常具有较高的力学强度和均质性。常见的岩浆岩有花岗岩、花岗斑岩、闪长岩、玄武岩、安山岩等。

岩浆岩中的矿物是岩浆中的化学成分在一定的物理、化学条件下有规律地结合而成的。岩浆岩中长石的含量最多，占整个岩浆岩成分的 60% 之多，其次是石英，其他的矿物含量则较少。组成岩浆岩的矿物根据其颜色深浅可分为浅色矿物和深色矿物两类。浅色矿物中的 SiO_2 和 Al_2O_3 含量高，颜色浅，如石英、长石等；深色矿物中 FeO 和 MgO 含量高，硅铝含量少，颜色较深，如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母等。

3. 变质岩

变质岩是由岩浆岩、沉积岩在地壳中受到高温、高压及化学活动性流体的影响发生变质而形成的岩石。它在矿物成分和结构构造上具有变质过程中所产生的特征，也常常残存

有原岩的某些特点。常见的变质岩有大理岩、石英岩、板岩、片麻岩、千枚岩等。

变质岩中的矿物成分可分为两大类：一类是原生矿物，如石英、长石、云母、角闪石、辉石、方解石等；另一类是在变质作用中产生的为变质岩所特有的矿物即变质矿物，如石墨、滑石、蛇纹石、石榴子石、红柱石、绿泥石等。

任务四 土的物理性质及工程分类

一、土的定义及成因

土是岩石在地质作用下经风化、破碎、剥蚀、搬运、沉积等过程的产物，是没有胶结或弱胶结的颗粒堆积物。组成土的物质可分为固相、液相和气相 3 种状态。固相部分主要是土粒，有时还有粒间胶结物和有机质，它们构成土的骨架；液相部分为水及其溶解物；气相部分为空气和其他微量气体。当土骨架之间的孔隙被水充满时，称其为饱和土；当土骨架间孔隙不含水时，称其为干土；而当土的孔隙中既含有水，又有一定量的气体存在时，称其为非饱和土。

1. 土的成因及按成因分类

(1) 残积土。残积土是岩石经风化后未被搬运而残留于原地的碎屑堆积物。它的基本特征是颗粒表面粗糙，多棱角，无分选，无层理。

(2) 坡积土。坡积土是指残积土受重力和暂时性流水（雨水、雪水）的作用，被搬运到山坡或坡脚处而沉积起来的土。坡积土粒度有一定的分选性和局部层理。

(3) 洪积土。洪积土是指残积土和坡积土受洪水冲刷、搬运，在山沟出口处或山前平原沉积下来的土，随离山远近有一定的分选性，颗粒有一定的磨圆度。

(4) 冲积土。冲积土是指受河流的流水作用被搬运到河谷坡降平缓的地带而沉积起来的土。这类土经过长距离的搬运，颗粒有较好的分选性与磨圆度，常具有层理。

(5) 湖积土。湖积土是在湖泊及沼泽等极为缓慢水流或静水条件下沉积起来的土。这类土除了含大量细微颗粒外，常含有因生物化学作用所形成的有机物，从而成为具有特殊性质的淤泥或淤泥质土。

(6) 海积土。海积土是由河流流水搬运到海洋环境下沉积下来的土。

(7) 风积土。风积土是由风力搬运形成的土，其颗粒磨圆度好，分选性好。我国西北黄土就是典型的风积土。

2. 土的特征

(1) 散体性。散体性是指颗粒之间无黏结或弱黏结，存在大量孔隙，可以透水、透气。

(2) 多相性。多相性是指土往往是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系，三相之间质和量的变化直接影响它的工程性质。

(3) 自然变异性。自然变异性是指经过自然界漫长的地质历史时期演化而形成的多矿物组合体，性质复杂、不均匀，且随时间还在不断变化。