



“十三五”普通高等教育本科规划教材

基础工程

黄太华 覃银辉 主 编
黄 伟 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“三五”普通高等教育本科规划教材

基础工程

主 编 黄太华 覃银辉
副主编 黄 伟
参 编 成洁筠 袁 健 全 洪
主 审 江学良



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。全书共分10章，主要内容包括概述、地基基础的类型及其设计原则、条形扩展基础、独立扩展基础、连续基础、桩基础、重力式挡土墙及基坑工程、特殊土地基、地基处理、地基基础抗震。本书根据现行相关规范编写并与工程实践紧密联系，介绍了基础工程的基本设计原理与设计方法，注重对规范的准确理解和应用，并通过适当的例题使读者能够准确掌握重要概念。

本书可作为高等院校建筑工程、岩土工程及相关专业教材，也可作为工程技术人员的参考书，同时对参加注册结构工程师、注册土木工程师（岩土）等考试的人员也会有所帮助。

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程/黄太华, 覃银辉主编. —北京: 中国电力出版社, 2019.5

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-0421-3

I. ①基… II. ①黄… ②覃… III. ①电力工程—高等学校—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 031068 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 孙 静 曹 慧

责任校对: 黄 蓓 李 楠

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 钱兴根

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 2019 年 5 月第一版

印 次: 2019 年 5 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 20.25

字 数: 500 千字

定 价: 58.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

前 言

基础工程是土木工程专业和岩土工程专业方向的重要专业课，这门课程与工程实践联系较为紧密。

在编者的教学实践中，为了满足教学的基本需求采用过数本不同出版社的教材，总的感觉不是书中错误较多，就是教材对工程实践中很重要的内容表述过于简略，以至于在课程设计和毕业设计时教材不能很好地帮助学生。为了有助于自己的教学，也为了使使用本书的学生或阅读本书的工程技术人员少受误导，编者花了一年左右的时间精心编写了本书。

基础工程实践价值最大也最重要的部分是基础部分，常用的基础有条形扩展基础、独立扩展基础、筏板基础和桩基础。考虑到条形扩展基础和独立扩展基础在工程实践中的重要性和设计方法上的显著差异，本书中这两部分内容单独成章。书中对这些重要内容进行了深入细致的阐述，并配置了适量的例题，既有助于初学者对这些知识点的准确掌握，也有助于对工程实践进行指导。

挡土墙和基坑工程在工程实践中很常用，部分院校安排在特种结构课程中学习。考虑到有的学校没有开设特种结构这门课，本书列入了极其常用的重力式挡土墙和基坑工程的内容，便于没有开设特种结构这门课程的学校选用。

本书共分10章，其中第1章、第2章、第4章由中南林业科技大学黄太华编写，第3章由中南林业科技大学成洁筠编写，第5章和第6章由中南林业科技大学覃银辉编写，第7章由中南林业科技大学成洁筠、袁健共同编写，第8章由中南林业科技大学黄太华、全洪共同编写，第9章、第10章由重庆科技学院黄伟编写。全书由黄太华编写大纲、修改并定稿。

中南林业科技大学江学良教授担任本书主审，为我们提出了许多宝贵意见，在此深表感谢。

本书编写过程中参考了大量文献，编者虽在书后的参考文献中力求列全，但未必能够如愿，若有遗漏望能指出，便于在以后修编时补充。

编写本书时，编者力求准确使用现行规范并与工程实践紧密结合，虽尽了最大的努力，但限于编者水平，书中仍可能存在错漏，恳请读者批评指正并提出宝贵的修改意见。

编 者
2019年3月

目 录

前言	
第 1 章 概述	1
1.1 地基与基础的基本概念	1
1.2 基础工程的重要性	2
1.3 本课程的主要内容	2
第 2 章 地基基础的类型及其设计原则	4
2.1 地基类型	4
2.2 基础类型	9
2.3 一般设计原则.....	15
2.4 桩基设计原则.....	19
2.5 埋深选择.....	21
2.6 变形验算.....	24
2.7 稳定性验算.....	33
思考题	33
第 3 章 条形扩展基础	35
3.1 概述.....	35
3.2 地基承载力的计算.....	39
3.3 砌体墙下刚性条形扩展基础.....	50
3.4 钢筋混凝土条形扩展基础.....	56
思考题	62
习题	63
第 4 章 独立扩展基础	65
4.1 概述.....	65
4.2 基础底面尺寸的确定.....	65
4.3 基础承载力设计.....	76
思考题	87
习题	87
第 5 章 连续基础	89
5.1 概述.....	89
5.2 上部结构、地基、基础共同作用.....	89
5.3 柱下条形基础.....	94
5.4 十字交叉条形基础	108

5.5	筏形基础	112
5.6	箱形基础	116
	思考题	120
	习题	121
第6章	桩基础	123
6.1	概述	123
6.2	桩的类型	125
6.3	竖向荷载下单桩的工作性能	129
6.4	单桩竖向承载力的确定	131
6.5	桩的水平承载力	154
6.6	群桩效应	162
6.7	桩的设计	164
6.8	承台设计	173
	思考题	187
	习题	188
第7章	重力式挡土墙及基坑工程	192
7.1	概述	192
7.2	重力式挡土墙设计	200
7.3	基坑工程设计	217
	思考题	236
	习题	237
第8章	特殊土地基	238
8.1	概述	238
8.2	软土地基	238
8.3	湿陷性黄土地基	241
8.4	膨胀土地基	246
8.5	山区地基及红黏土地基	252
8.6	冻土地基及盐渍土地基	256
	思考题	257
第9章	地基处理	258
9.1	概述	258
9.2	复合地基理论	261
9.3	换土垫层法	270
9.4	重锤夯实法和强夯法	275
9.5	桩土复合地基法	280
9.6	化学加固法和灌浆法	285
	思考题	290
	习题	291

第 10 章 地基基础抗震	292
10.1 概述	292
10.2 地基基础的震害现象	294
10.3 土的液化	297
10.4 基础抗震	305
思考题	314
习题	314
参考文献	316

第1章 概述

1.1 地基与基础的基本概念

基础工程是岩土工程和结构工程相结合的一门学科。通常,用岩土工程的基本理论和方法去解决地基方面的工程问题;由于基础是建筑物结构的一部分,在基础设计中需要进行结构计算,因此,基础工程也与结构计算理论和计算技术密切相关。

基础工程研究的对象主要是地基与基础问题,即各类建筑物和构筑物(如工业与民用建筑、桥梁工程、水利工程、港口工程、地下工程等)的地基基础和挡土结构物的设计和施工,以及为满足基础工程要求进行的地基处理方法。

地基指的是直接承托建筑物和构筑物基础的岩土层。在建筑物和构筑物的荷载作用下,地基会产生附加应力并由附加应力而产生变形,附加应力的范围随基础类型、基础尺寸、荷载大小以及土层分布而不同。建筑物和构筑物对地基的要求是满足地基承载力、沉降变形和地基稳定的要求,除考虑地基岩土本身的地基承载力和沉降变形特性外,应考虑周围已有建筑物、构筑物对新建建筑物和构筑物在施工阶段和使用期间的影 响,还应考虑水文条件、气象条件和环境条件及其变化对新建建筑物和构筑物在施工阶段和使用期间的影 响,流砂管涌、液化、冻胀、湿陷等也会对新建建筑物和构筑物在施工阶段和使用期间造成损害。

通常把地基区分为持力层和下卧层。直接与基础底面接触的附加压力较大的岩土层称为持力层,持力层以下的岩土层称为下卧层。持力层和下卧层都应满足地基承载力的要求,持力层的附加压力数值较大,故对持力层的地基承载力要求显然比对下卧层要高。对于同一种岩土层或一般的岩土层,下卧层的地基承载力普遍比持力层要高,大多数情况下不需要进行下卧层的地基承载力验算;工程中也可能出现下卧层地基承载力显著低于持力层地基承载力的情况,工程中称这种下卧层为软弱下卧层,这种情况需要进行下卧层地基承载力验算。

地基又可分为天然地基和人工地基两类。天然地基是不进行人工处理就可以直接用作建筑物地基的天然岩土层,人工地基是必须经过地基处理后才能满足建筑物和构筑物对地基要求的土层。显然,当能满足基础的受力要求时,采用天然地基是最经济的。

基础是建筑物和构筑物上部结构与地基之间过渡的结构部分,一般位于地面以下,若有地下室则为地下室底板以下,箱形基础则部分地下室也包含在基础范围内。

基础与上部结构一样应满足强度、刚度和耐久性的要求。将基础从上部结构中分出单独研究是出于以下原因:

(1) 基础是直接 与地基土接触的结构部分,设计中必须考虑地基与基础的相互作用。

(2) 基础的结构尺寸和结构计算方法完全与上部结构不同,明显有别于上部结构,有独立的设计规范。

(3) 基础施工有专门的技术和方法,包括基坑开挖、施工降水、桩基础和其他深基础的专项技术及各类地基处理技术等,基础施工受自然条件和环境条件的影 响要比上部结构大得多。

(4) 基础有独特的功能和构造要求。

根据基础传力方式的不同,基础又可分为浅基础和深基础两大类,两者的设计和施工方法明显不同。浅基础将上部结构的荷载通过扩大接触面积直接传递给持力层,再通过持力层将力扩散;深基础将大部分上部结构的荷载直接传递到较深的土层中。

1.2 基础工程的重要性

“基础工程”是土木工程及其相关专业的一门重要专业课,相关知识在工程实践中应用极其广泛,从事土木工程及其相关专业工作必须具备基础工程的专业知识。

“基础工程”与“土力学”“混凝土结构设计原理”联系紧密,与“工程地质学”“砌体结构”“结构抗震设计”也有一定联系,可为后续结构软件课程及毕业设计准备相关专业知识。

基础工程的重要性主要表现在以下几个方面:

(1) 地基基础问题是土木工程领域普遍存在的问题。基础设计和施工是整座建筑物设计和施工中必不可少的一环,掌握基础工程的设计理论和方法,了解施工原理和过程是十分必要的。当地基条件复杂或者恶劣时,基础工程经常会成为工程中的难点,而由于岩土复杂性、勘测工作的有限性等造成岩土工程的不定性和经验性,基础工程问题往往又成为最难把握的问题。

(2) 地基基础造价占土建总造价较大的比例,基础及地下室的工期往往较长。在软土地区,基础造价占土建总造价的比例可达百分之十几甚至超过20%,如包括地下室则更高。这样高的造价既要求设计和施工必须保证建筑物的安全和正常使用,同时也提出是否能选择最合适的设计方案和施工方法,以降低基础部分的造价并缩短工期。

(3) 地基基础事故屡见不鲜,有时甚至酿成重大损失。而一旦发生地基基础事故,有时候是灾难性的,就算不造成大的灾难,弥补和整治也是费钱、费力又费时的事。工程事故常常由地基事故所引起,例如国际水利工程的统计表明,自1830年以来,大坝失事中有25%可归咎于地基事故。而造成基础工程事故的原因有勘测、设计或施工的失误,环境气候的变化乃至使用的不当等,有时这些原因同时存在,某一环节失误或者考虑不周就可能酿发事故。例如,世界著名的比萨斜塔就是由于地基的不均匀沉降形成的。

随着计算机的广泛使用,工程结构软件大量应用于工程实践。在进行上部结构设计时,软件的计算结果与实际情况越来越接近,但由于基础的特殊性,软件在基础设计方面还不是很完美,软件在基础设计方面的计算结果有时不能满足设计的要求,工程技术人员需要对软件的运算结果进行大量的人工判断并辅以一定的手工计算,促使设计人员对基础工程有较深的理解才能解决工程实践中的复杂问题。

1.3 本课程的主要内容

工程实践中最常用的基础类型主要是柱下独立基础和桩基础,另外砌体墙下条形基础、筏板基础也较常用。考虑到工程应用的重要性和设计方法的显著差别,本书把砌体墙下条形扩展基础和柱下独立扩展基础分开编写。

因部分高校未开设“特种结构”这门课程，而挡土墙和基坑支护在工程实践中极其常见，故本书增加了重力式挡土墙及基坑支护一章，以便学生对挡土墙和基坑支护设计理论有一定的了解。

根据基础工程实践中所涉及的技术问题，本书从以下九个方面加以系统论述：

第2章主要介绍了地基基础类型和地基基础的设计原则，基础埋深的合理取值，以及沉降计算要求和稳定性验算。

第3章主要介绍了条形扩展基础的设计方法，将墙下刚性条形基础和墙下钢筋混凝土条形基础分开表述。钢筋混凝土条形基础可作为地下室外围混凝土挡土墙的基础，也可作为截面高度较大的剪力墙的扩展基础。

第4章主要介绍了独立扩展基础的设计方法。独立扩展基础可作为混凝土柱或截面高度较小的剪力墙的扩展基础。完整的独立基础设计包含四个方面：基础埋深、基础底面尺寸、基础高度和基础底板配筋。通过地基承载力验算确定基础底面尺寸，通过抗冲切验算确定基础高度，通过受弯设计确定基础底板配筋。

第5章主要介绍了连续基础的设计方法。连续基础主要包含柱下钢筋混凝土条形基础、柱下钢筋混凝土十字交叉基础、筏板基础和箱形基础。

第6章主要介绍了桩基础的设计方法。桩的承载力计算是本章的重要内容，一般的桩基础设计主要包含四个大的方面：单桩承载力的确定、竖向构件（含柱和剪力墙）下桩数的确定、承台厚度的确定、承台配筋计算。

第7章主要介绍了重力式挡土墙及基坑工程的设计方法，并对一些简单常用的基坑支护形式进行了介绍。重力式挡土墙的设计包含挡土墙形式的确定、稳定性验算、地基承载力验算和墙身承载力验算。

第8章主要介绍了特殊土地基的主要类型和设计/处理方法。

第9章主要介绍了一些常用的地基处理方法。

第10章主要介绍了地基的液化和基础的抗震设计要求。

本书第2~4章和第6章为重要内容，学习时必须掌握；第5章的筏板基础在工程中也比较为常用，对基础与地基变形协调计算方法的合理选择也应有较深的理解。为了便于学习时深刻理解所学内容，重要的部分都配置有相应的例题。

第 2 章 地基基础的类型及其设计原则

2.1 地基类型

2.1.1 一般地基的工程分类

自然界中岩土种类繁多、工程性质各异，地基的分类就是依据它们的粒径、粒组含量、含水情况和密实性等物理特性将土划分类别，便于认识和评价地基的工程特性。地基岩土的分类方法很多，我国不同行业根据岩土的用途对其采用各自的分类方法。GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》将作为一般地基的岩土划分为岩石、碎石土、砂土、黏性土、粉土五大类。在大多数情况下，这五类地基不需人工处理即可作为建筑物或构筑物的地基。

1. 岩石

岩石是指颗粒间牢固黏结，呈整体或具有节理裂隙的岩体。岩石的地基承载能力主要由岩石的坚硬程度、完整程度和风化程度决定，岩石中的水对岩石地基的承载力影响相对较小。

岩石的坚硬程度根据岩块的饱和单轴抗压强度标准值划分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩五类，见表 2-1。

表 2-1 岩石坚硬程度的划分

坚硬程度类别	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} (MPa)	$f_{rk} > 60$	$30 < f_{rk} \leq 60$	$15 < f_{rk} \leq 30$	$5 < f_{rk} \leq 15$	$f_{rk} \leq 5$

岩石的完整程度根据岩石的完整性指数划分为完整、较完整、较破碎、破碎和极破碎五类，见表 2-2。

表 2-2 岩石完整程度的划分

完整程度类别	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性指数	> 0.75	$0.75 \sim 0.55$	$0.55 \sim 0.35$	$0.35 \sim 0.15$	< 0.15

注 完整性指数为天然岩体纵波波速与完整岩块纵波波速之比的平方。选定岩体、岩块测定波速时应有代表性。

当缺乏试验资料时，可在现场通过观察定性划分。岩石坚硬程度的定性划分见表 2-3。

表 2-3 岩石坚硬程度的定性划分

名称	定性鉴别	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声清脆，有回弹，振手，难击碎；基本无吸水反映 未风化或微风化的花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、硅质砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍振手，较难击碎；有轻微吸水反映 (1) 微风化的坚硬岩。 (2) 未风化或微风化大理岩、板岩、石灰岩、钙质砂岩等

续表

名称		定性鉴别	代表性岩石
软质岩	较软岩	锤击声不清脆, 无回弹, 较易击碎; 指甲可刻出印痕	(1) 中风化的坚硬岩和较硬岩。 (2) 未风化或微风化的凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩等
	软岩	锤击声哑, 无回弹, 有凹痕, 易击碎; 浸水后可捏成团	(1) 强风化的坚硬岩和较硬岩。 (2) 中风化的较软岩。 (3) 未风化或微风化的泥质砂岩、泥岩等
极软岩		锤击声哑, 无回弹, 有较深凹痕, 手可捏碎; 浸水后可捏成团	(1) 风化的软岩。 (2) 全风化的各种岩石。 (3) 各种半成岩

当缺乏试验资料时, 可在现场通过观察定性划分。岩石完整程度的定性划分见表 2-4。

表 2-4 岩石完整程度的定性划分

完整程度类别	结构面组数	控制性结构面平均间距 (m)	代表性结构类型
完整	1~2	>1.0	整状结构
较完整	2~3	0.4~1.0	块状结构
较破碎	>3	0.2~0.4	镶嵌状结构
破碎	>3	<0.2	碎裂状结构
极破碎	无序	—	散体状结构

岩石的风化程度可分为未风化、微风化、中风化、强风化和全风化五类。

2. 碎石土

碎石土的地基承载力主要由主土粒的粒径、密实度决定, 碎石土中的含水因素影响相对较小。

碎石土是指粒径大于 2mm 的颗粒含量超过总质量的 50% 的土, 按粒径和颗粒形状可进一步划分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾六个亚类土, 具体划分见表 2-5。

表 2-5 碎石土的分类

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

注 分类时, 应根据“粒组含量”栏从上到下以最先符合者确定。

漂石或块石作为土的名称与一般意义上的漂石或块石完全不同, 漂石或块石作为土的名称不表示土全部由漂石或块石组成, 在漂石或块石间还有更细颗粒的土填充; 其他四种亚类土含义类同。

碎石土的密实度可按表 2-6 中标准分为松散、稍密、中密、密实四类。

表 2-6 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
$N_{63.5} \leq 5$	松散
$5 < N_{63.5} \leq 10$	稍密
$10 < N_{63.5} \leq 20$	中密
$N_{63.5} > 20$	密实

注 1. 本表适用于平均粒径小于或等于 50mm 且最大粒径不超过 100mm 的卵石、碎石、圆砾、角砾；对于平均粒径大于 50mm 或最大粒径大于 100mm 的碎石土，可按规范鉴别其密实度。

2. 表内 $N_{63.5}$ 为经综合修正后的平均值。

3. 砂土

砂土的地基承载力主要由主土粒的粒径、密实度决定，砂土中的含水影响相对较小。

砂土是指粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过总质量的 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过总质量 50% 的土。砂土可再划分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂 5 个亚类土，具体划分见表 2-7。

表 2-7 砂土的分类

土的名称	粒组含量
砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒占总质量的 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过总质量的 50%
中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过总质量的 50%
细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量的 85%
粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量的 50%

注 定名时，应根据“粒组含量”栏从上到下以最先符合者确定。

砾砂或粗砂作为土的名称与一般意义上的砾砂或粗砂完全不同，砾砂或粗砂作为土的名称不表示土全部由砾砂或粗砂组成，在砾砂或粗砂间还有更细颗粒的土填充；其他三种亚类土含义类同。

砂土的密实度可按表 2-8 中标准分为松散、稍密、中密、密实四类。

表 2-8 砂土的密实度

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

注 当用静力触探探头阻力判定砂土的密实度时，可根据当地经验确定。

4. 黏性土

粒径大于 0.075mm 的颗粒不超过总质量 50% 的土为粉土或黏性土，黏性土的粒径比粉土小。

当土颗粒直径很小时, 粒径大小对土的承载力影响变得很小, 地基的承载力主要由孔隙比、含水情况(一般用液性指数 I_L 表示) 决定。

当土颗粒直径很小时, 无法通过筛分来区分黏性土和粉土, 而只能通过土颗粒比表面积的相对大小来区分。土颗粒越细, 比表面积越大, 液限和塑限的差值也越大, 因而塑性指数 I_P 也越大; 规范将塑性指数 $I_P > 10$ 的土定义为黏性土, 根据土颗粒的大小或塑性指数 I_P 的大小又可将黏性土分为黏土、粉质黏土两类, 见表 2-9。

表 2-9 黏性土的分类

塑性指数 I_P	土的名称
$I_P > 17$	黏土
$10 < I_P \leq 17$	粉质黏土

注 塑性指数由相应于 76g 圆锥体沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得。

同样的含水量, 土颗粒越细, 土越显得干燥, 故考虑土颗粒大小的影响, 不能直接用含水量来反映黏性土的干湿程度; 为了反映土的干燥程度, 引入液性指数 I_L 。根据液性指数 I_L , 可将黏性土的状态分为坚硬、硬塑、可塑、软塑、流塑五类, 见表 2-10。

表 2-10 黏性土的状态

液性指数 I_L	状态
$I_L \leq 0$	坚硬
$0 < I_L \leq 0.25$	硬塑
$0.25 < I_L \leq 0.75$	可塑
$0.75 < I_L \leq 1$	软塑
$I_L > 1$	流塑

注 当用静力触探探头阻力判定黏性土的状态时, 可根据当地经验确定。

5. 粉土

粉土是指塑性指数 I_P 小于或等于 10 且粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过总质量 50% 的土。

粉土是介于砂土和黏性土之间的过渡性土类, 它具有砂土和黏性土的某些特征。根据黏粒含量, 可以将粉土再划分为砂质粉土和黏质粉土。

自然界中的粉土普遍具有孔隙比大、透水性强、地基承载力低的特征。

2.1.2 特殊地基土的工程分类

工程中还可能遇到特殊的地基土, 特殊地基土一般不能直接用作建筑物或构筑物的地基, 而必须经过鉴别判定或人工处理方可作为建筑物或构筑物的地基。

特殊地基土包含淤泥类土、红黏土、人工填土、膨胀土、湿陷性黄土和冻土等。

1. 淤泥类土

淤泥类土为在静水或缓慢的流水环境中沉积, 并经生物化学作用形成的土, 具有含水量高、孔隙比大、压缩性强、透水性差和压缩完成时间长等特点。

淤泥类土又可细分为淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土。其中, 天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的黏性土为淤泥。天然含水量大于液限而天然孔隙比小于 1.5 但

大于或等于 1.0 的黏性土或粉土为淤泥质土。含有大量未分解的腐殖质, 有机质含量大于 60% 的土为泥炭。有机质含量大于或等于 10% 且小于或等于 60% 的土为泥炭质土。

2. 红黏土

红黏土为碳酸盐岩系的岩石经红土化作用形成的高塑性黏土, 其液限一般大于 50%。红黏土经再搬运后仍保留其基本特征, 其液限大于 45% 的土为次生红黏土。

红黏土与碳酸盐岩系的岩石关系密切, 在红黏土与碳酸盐岩的结合面一般会有土洞存在; 土洞埋藏过浅或范围过大会对浅基础形成安全危害, 土洞还会给灌注桩的混凝土施工造成困难。

3. 人工填土

人工填土根据其组成和成因, 可分为素填土、压实填土、杂填土、冲填土。

素填土为由碎石土、砂土、粉土、黏性土等组成的填土。经过压实或夯实的素填土为压实填土。杂填土为含有建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物的填土。冲填土为由水力冲填泥砂形成的填土。

人工填土具有孔隙比大、自重固结沉降未完成、地基承载力低的特点, 未经处理的人工填土不能作为建筑物或构筑物的地基。若为杂填土, 还可能给桩基的施工造成困难。

4. 膨胀土

膨胀土为自由膨胀率大于或等于 40% 的黏性土土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成, 具有显著的吸水膨胀和失水收缩特性。

膨胀土在吸水膨胀和失水收缩时都会对建筑物或构筑物的基础造成破坏。

5. 湿陷性土

湿陷性土为在一定压力下浸水后产生附加沉降, 其湿陷系数大于或等于 0.015 的土。

湿陷性土在浸水湿陷时会对建筑物或构筑物的基础造成破坏。

6. 冻土

冻土分为季节性冻土和多年冻土, 冻土会发生冻胀和溶沉两种现象。

冻土的冻胀和溶沉会对建筑物或构筑物的基础造成破坏。

2.1.3 地基的工程特性指标

土的工程特性指标由勘探单位在现场或实验室按规范规定获取, 并被写入岩土工程勘察报告, 供设计单位和施工单位使用。

土的工程特性指标有强度指标、压缩性指标, 以及静力触探探头阻力、动力触探锤击数、标准贯入试验锤击数、载荷试验获得的地基承载力等。

地基土工程特性指标的代表值分别为标准值、平均值及特征值。抗剪强度指标应取标准值, 压缩性指标应取平均值, 载荷试验获得的地基承载力应取特征值。

载荷试验有浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验或岩石载荷试验。浅层平板载荷试验适用于浅层地基, 深层平板载荷试验适用于深层地基 (尤其是大直径桩底), 岩石载荷试验适用于完整基岩。

土的抗剪强度指标可采用原状土室内剪切试验、无侧限抗压强度试验、现场剪切试验、十字板剪切试验等方法测定。当采用室内剪切试验确定时, 宜选择三轴压缩试验的自重压力下预固结的不固结不排水试验。经过预压固结的地基可采用固结不排水试验。每层土的试验数量不得少于 6 组。室内试验抗剪强度指标标准值——黏聚力 (c_k) 和内摩擦角 φ_k , 可按

规范确定。在验算坡体的稳定性时,对于已有剪切破裂面或其他软弱结构面的抗剪强度,应进行野外大型剪切试验。

土的压缩性指标可采用原状土室内压缩试验、原位浅层或深层平板载荷试验、旁压试验确定,并应符合下列规定:

(1) 当采用室内压缩试验确定压缩模量时,试验所施加的最大压力应超过土自重压力与预计的附加压力之和,试验成果用 $e-p$ 曲线表示。

(2) 当考虑土的应力历史进行沉降计算时,应进行高压固结试验,确定先期固结压力、压缩指数,试验成果用 $e-\lg p$ 曲线表示。为确定回弹指数,应在估计的先期固结压力之后进行一次卸荷,再继续加荷至预定的最后一级压力。

(3) 当考虑深基坑开挖卸荷和再加荷时,应进行回弹再压缩试验,其压力的施加应与实际的加卸荷状况一致。

地基土的压缩性可按 p_1 为 100kPa、 p_2 为 200kPa 时相对应的压缩系数值 a_{1-2} 划分为低、中、高压缩性,并符合以下规定:

- 1) 当 $a_{1-2} < 0.1 \text{MPa}^{-1}$ 时,为低压缩性土;
- 2) 当 $0.1 \text{MPa}^{-1} \leq a_{1-2} < 0.5 \text{MPa}^{-1}$ 时,为中压缩性土;
- 3) 当 $a_{1-2} \geq 0.5 \text{MPa}^{-1}$ 时,为高压缩性土。

2.1.4 地基承载力

岩石的饱和单轴抗压强度 f_{rk} 同时反映了岩石的坚硬程度和风化程度,再结合岩石的破碎程度,按公式 $f_a = \psi_r f_{rk}$ 可计算出岩石地基的承载力特征值 f_a ,其中 ψ_r 为折减系数(相关计算方法详见 3.2.2.4)。岩石地基的承载力特征值不进行深度修正和宽度修正。对于风化程度不是很严重的岩石,当桩支承在岩石表面时,桩的端阻力与浅基础的岩石地基承载力在数值上基本接近。

土类地基的地基承载力由土的自身物理特性、基础宽度和基础埋深共同决定。土的自身物理特性包含了土的粒径大小、密实度、孔隙比和含水量等,对粗颗粒的土含水量影响不大,对细颗粒的土粒径影响不大。土的自身物理特性决定了土的抗剪强度指标——黏聚力和内摩擦角的大小,而抗剪强度指标的大小又决定了地基承载力的大小。

一般而言,大粒径土比细粒径土有更大的摩擦角,因而大粒径土比细粒径土有更大的地基承载力;密实性好的土比密实性差的土有更大的摩擦角,因而密实性好的土比密实性差的土有更大的地基承载力;对细颗粒的黏性土和粉土,孔隙比小的土和液性指数小的土有更大的摩擦角和黏聚力,因而孔隙比小的土和含水量小的土有更大的地基承载力。同样的土质,天然的土比填土密实性更好,故天然的土比填土有更高的抗剪强度指标,在进行支挡结构设计时应特别注意。

在岩土勘察报告中,一般不考虑基础宽度和基础埋深的影响,只考虑土的自身特性提出修正前的地基承载力特征值,设计人员在设计时再进行宽度和深度修正。

修正前的地基土承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算,并结合工程实践经验等方法综合确定。

2.2 基础类型

主要根据基础的受力特点并考虑基础的深度将基础分为浅基础和深基础两个大类。

浅基础通过在平面上扩大基础底面尺寸，将竖向构件的竖向压力传到地基中；深基础通过桩、地下连续墙等构件将竖向构件的绝大部分竖向压力传到深层岩土中。

2.2.1 浅基础

1. 独立基础

独立基础是扩展基础的一种，一般用作砖柱、框架柱和排架柱的柱下基础，大多采用一柱一基础的形式，如图 2-1 所示。

当上部柱是砖柱时，基础大多采用砖、毛石或素混凝土等材料做基础。这种基础材料的抗拉能力较差，需要满足刚性角要求，基础总高度很大而使基础刚度很大，变形适应能力差，通常称为刚性基础。

混凝土框架和混凝土排架的钢筋混凝土柱下基础一般设计为钢筋混凝土基础，这种基础用钢筋抵抗基础中产生的拉应力，不需要满足刚性角要求，基础总高度有所减小，变形适应能力稍强，通常称为柔性基础。

钢结构中的钢柱一般也设计为独立基础，用混凝土短柱连接基础和地面以上的钢柱。

当相邻柱间距很小而使两个或多个柱的基础重叠时，可以设计成多柱联合基础。

砌体结构若遇地基局部超深，也可用局部独立基础支撑砌体墙下的基础梁，再在基础梁上砌墙。

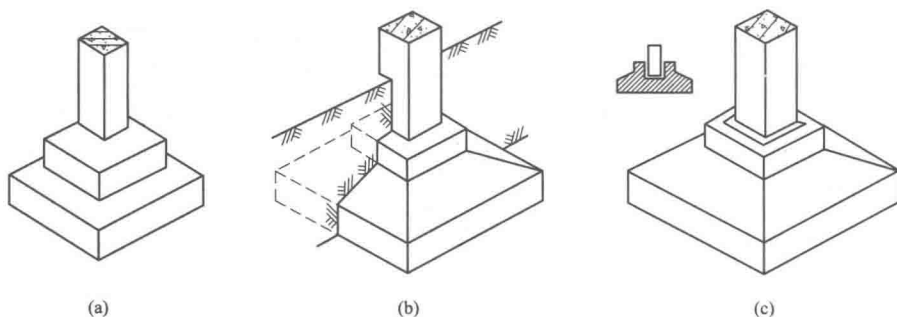


图 2-1 独立基础

(a) 阶梯形；(b) 锥形；(c) 杯口形

2. 条形基础

条形基础也是扩展基础的一种，条形基础分为柱下条形基础和墙下条形基础，如图 2-2 所示。

当柱的荷载过大或地基承载力过低导致基础尺寸过大时，可以将一排柱的基础连在一起，设计成柱下条形基础。在柱的连线上设计地基梁，将独立基础底板的双向受弯转变为地基梁两侧翼板的单向受弯。这种基础在地基梁方向有较强的变形协调能力，在柱的间距不是很大时经济性较好，属于柔性基础。

砌体结构的墙下大多设计为砖、毛石和素混凝土等材料的条形基础。这种基础材料的抗拉能力较差，需要满足刚性角要求，基础总高度很大而使基础刚度很大，变形适应能力差，通常称为刚性基础。当墙的荷载过大或地基承载力过低导致基础尺寸过大时，为了满足刚性角要求，需要很大的基础高度从而需要较大的基础埋深，为了减少埋深，也可以设计为钢筋混凝土条形基础。钢筋混凝土条形基础是柔性基础的一种。